WZMACNIACZ MAŁEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

Seria

ELEKTRONIKA NA CODZIEŃ

W skład serii wchodzą:

W. PROKURAT

Odbiornik detektorowy z diodą germanową

W. PROKURAT

Wzmacniacz małej częstotliwości

W. PROKURAT

Wzmacniacz wielkiej częstotliwości

W. PROKURAT

Zasilacz odbiornika z sieci prądu zmiennego

K. WIDELSKI

Najprostszy odbiornik tranzystorowy

Inż. W. Prokurat

621.396.645

WZMACNIACZ MAŁEJ CZĘSTOTLIWOŚCI



WARSZAWA 1961
PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

Opiniodawca
Dr inż. Marian Rajewski
Redaktor naukowy PWT
inż. M. Wargalla

W broszurze omówiono amatorską budowę wzmacniacza małej częstotliwości do odbiornika detektorowego oraz podano ogólnie zasadę działania takiego wzmacniacza.
Broszura jest przeznaczona dla początkujących radioamatorów.

Redaktor techniczny *I. Milewska*

PWT Warszawa 1961. Wydanie I. Nakład 8200 egz. Ark. wyd. 3,6. Ark. druk. 4,25. Format A5. Pap. ilustr. kl. V, 70 g. Rękopis oddano do składania dn. 21. 10. 1960. Podpisano do druku 7. 1. 61. Druk ukończono w styczniu 61. Symbol 76521/Et.
Cena zł. 7.—

Bielskie Zakłady Graficzne, Bielsko-Biała, ul. Grunwaldzka 6 — zam. 4473/60. N-15.

Spis rzeczy

Wstęp

Drugim z kolei etapem rozbudowy odbiornika detektorowego będzie skonstruowanie wzmacniacza małej częstotliwości, co umożliwi słuchanie audycji radiowych przy użyciu głośnika. W niniejszej broszurze znajdzie Czytelnik opis sposobu wykonania i zastosowania dwustopniowego wzmacniacza małej częstotliwości.

Wykonamy go w obudowie panelowej podobnie jak odbiornik detektorowy, czy wzmacniacz wielkiej częstotliwości.

Opisany tu wzmacniacz, zaprojektowany w oparciu o elementy dostępne na rynku krajowym, przy swych małych rozmiarach i małym poborze energii zasilającej zapewnia dostatecznie głośne odtwarzanie audycji radiowych przy użyciu głośnika.

Do czasu zbudowania specjalnego zasilacza sieciowego z germanowymi diodami warstwowymi (którego opis będzie tematem następnej z kolei broszury) cały zestaw odbiornika możemy zasilać przy użyciu transformatorka dzwonkowego lub z akumulatora (6 V) i baterii anodowej (67 lub 120 V).

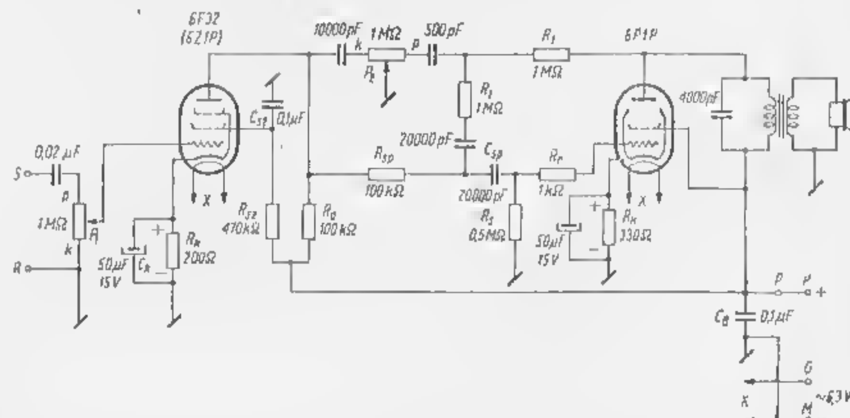
1. Opis układu wzmacniacza małej częstotliwości

Wzmacniacz małej częstotliwości w przypadku stosowania głośnika powinien obejmować przynajmniej dwa stopnie wzmocnienia. Pierwszy z nich to stopień wzmocnienia napięciowego, niezbędny do uzyskania odpowiedniej wielkości sygnału dla należytego wysterowania następnego stopnia wzmocnienia. Drugi stopień wzmocnienia małej częstotliwości jest stopniem końcowym, czyli wzmacniaczem mocy; jego lampa pracuje na oporność obciążenia

w postaci głośnika. W obwodzie anodowym stopnia końcowego uzyskuje się stosunkowo dużą moc prądu zmiennego o częstotliwości akustycznej, potrzebną do uruchomienia głośnika.

Opisany tu wzmacniacz małej częstotliwości jest układem obejmującym również dwa stopnie wzmocnienia (napięciowego oraz mocy) z nowoczesnymi lampami miniaturowymi.

Schemat ideowy układu przedstawiono na rys. 1. Wejście wzmacniacza stanowią gniazdka S i R. Sygnał w postaci napięcia



Rys. 1. Schemat ideowy wzmacniacza małej częstotliwości

zmiennego małej częstotliwości zostaje doprowadzony do wejścia wzmacniacza. Powoduje to spadek napięcia zmiennego m. cz. na potencjometrze P_1. Ze ślizgaczem tego potencjometru połączona jest siatka sterująca pierwszej lampy wzmacniacza (typu 6F32 lub 6Z1P). Obracając gałkę potencjometru przesuwamy ślizgacz wzdłuż jego płytki oporowej. Następuje wówczas zmiana amplitudy napięcia zmiennego na siatce sterującej tej lampy od 0 do wartości maksymalnej równej wielkości doprowadzanego sygnału. Ponieważ wielkość sygnału na oporniku anodowym Ra jest na ogół proporcjonalna do sygnału jaki dostaje się na siatkę lampy wzmacniającej, przeto zależnie od położenia ślizgacza potencjometru P_1 wzmocnienie pierwszego stopnia będzie się zmieniało od zera do wartości maksymalnej, jaką można tu uzyskać. Na wielkość wzmocnienia stopnia napięciowego wpływają zarówno napięcie źródła zasilania obwodu anodowego jak i wartość oporników R_a, R_{s2} i R_k. One to decydują o punkcie pracy lampy

wzmacniającej. Opornik katodowy R_k powoduje powstawanie automatycznego ujemnego napięcia polaryzującego siatkę lampy. O wielkości napięcia polaryzującego siatkę decyduje wielkość spadku napięcia na oporniku katodowym R_k. Polaryzacja siatki powinna być stała, dlatego opornik katodowy blokujemy kondensatorem, aby powstawał na nim jedynie spadek napięcia od składowej stałej prądu anodowego. Kondensator blokujący C_k zwiera opornik R_k dla składowej zmiennej. Ponieważ składowa zmienna prądu anodowego zawiera częstotliwość akustyczną w zakresie od 50 Hz do 10 000 Hz, to pojemność kondensatora (który powinien wykazywać bardzo małą oporność dla najmniejszej częstotliwości) powinna być możliwie jak największa. W opisanym tu układzie pojemność kondensatora katodowego $C_k = 50$ µF. Spadek napięcia na oporniku katodowym jest rzędu 2 woltów, wobec czego możemy zastosować kondensator na napięcie pracy dowolne, byle tylko większe od 2 woltów np. 5, 10, 15 lub 30 V. Zwykły kondensator papierowy o pojemności 50 µF miałby stosunkowo duże rozmiary, dlatego też lepiej użyć kondensatory elektrolityczne, odznaczające się małymi rozmiarami przy dużej pojemności.

Siatka druga (osłonna) lampy 6F32 zasilana jest poprzez opornik R_{s2} oraz blokowana kondensatorem C_{s2}, a to w celu uniknięcia zakłóceń, jakie mogą dostać się do lampy ze źródła zasilania.

Między stopniem wzmocnienia napięciowego a stopniem końcowym znajduje się układ korekcyjny, służący do regulacji barwy dźwięku. Składa się on z potencjometru P_2, dwóch kondensatorów (jeden o pojemności 10 000 pF, drugi — 500 pF) oraz gałęzi sprzężenia zwrotnego (dwa oporniki R_1 i R_2 oraz kondensator 20 000 pF). Przy ustawianiu ślizgacza potencjometru P_2 w lewym skrajnym położeniu, układ lepiej wzmacnia niższe częstotliwości, a w położeniu prawym — częstotliwości wyższe.

Lampa głośnikowa 6P1P w stopniu końcowym jest lampą czteroelektrodową (tetrodą strumienową). Jej oporność wewnętrzna $R_i = 85$ kΩ, a prąd anodowy w stanie spoczynku $I_a = 11$ mA; natomiast oporność wewnętrzna lampy 6F32 lub 6Z1P $R_i = 300$ kΩ, a prąd anodowy $I_a = 7{,}5$ mA. Lampa 6P1P pracuje na oporność anodową w postaci pierwotnego uzwojenia transformatora wyjściowego. Według danych katalogowych lampa ta będzie pra-

cowała najlepiej, gdy obciążymy ją opornością anodową $R_a = 7$ kΩ. Dla tego właśnie warunku musimy obliczyć transformator wyjściowy, obciążony po stronie uzwojenia wtórnego cewką drgającą głośnika. Sam głośnik powinien mieć małe wymiary zewnętrzne dlatego najlepiej zastosować tu głośnik typu GD-9/0,5 o mocy 0,5 wata.

Według danych katalogowych lampa 6P1P przewidziana jest do pracy przy różnych napięciach anodowych. Tak więc przy $U_{a0} = 100$ V:

$$-U_{s2} = 100 \text{ V}; \; U_{s1} = -6 \text{ V}; \; R_a = 7 \text{ k}\Omega; \; P_0 = 0{,}45 \text{ W}$$

a przy $U_{a0} = 180$ V:

$$U_{s2} = 180 \text{ V}; \; U_{s1} = -8{,}5 \text{ V}; \; R_a = 5{,}5 \text{ k}\Omega; \; P_0 = 2 \text{ W}$$

Z tego wynika, że do uzyskania mocy 0,5 W wystarczy napięcie anodowe $U_{a0} = 100$ V. Dla tych więc wartości należy obliczyć transformator wyjściowy.

Przed przystąpieniem do budowy wzmacniacza trzeba oczywiście zgromadzić wszystkie części składowe. Najpierw postaramy się o elementy gotowe (fabryczne), którymi będą:

— Głośnik typu GD-9/0,5	1 szt.
— Lampa elektronowa typu 6P1P	1 szt.
— Lampa elektronowa typu 6F32 (lub 6Ż1P albo 6AK5)	1 szt.
— Gniazdko lampowe typu „nowal"	1 szt.
— Gniazdko lampowe miniaturowe	1 szt.
— Potencjometr masowy typu PM-1 1 MΩ/0,5 W	2 szt.
— Opornik masowy typu WS — 200 Ω/0,25 W	1 szt.
— Opornik masowy typu WS — 330 Ω/0,25 W	1 szt.
— Opornik masowy typu WS — 470 kΩ/0,25 W	1 szt.
— Opornik masowy typu WS — 100 kΩ/0,25 W	2 szt.
— Opornik masowy typu WS — 1 MΩ/0,25 W	2 szt.
— Opornik masowy typu WS — 1 kΩ/0,25 W	1 szt.
— Opornik masowy typu WS — 0,5 MΩ/0,025 W	1 szt.
— Kondensator elektrolityczny katodowy 50 μF/30 V	2 szt.
— Kondensator papierowy 0,1 μF/250 V	3 szt.
— Kondensator papierowy 0,020 μF/250 V	2 szt.
— Kondensator papierowy 10 000 pF/250 V	1 szt.
— Kondensator papierowy 0,05 μF/250 V	1 szt.
— Kondensator papierowy 4000 pF/250 V	1 szt.
— Kondensator mikowy 50 pF/250 V	1 szt.
— Kondensator mikowy 2 000 pF/250 V	1 szt.
— Gałka strojeniowa	2 szt.

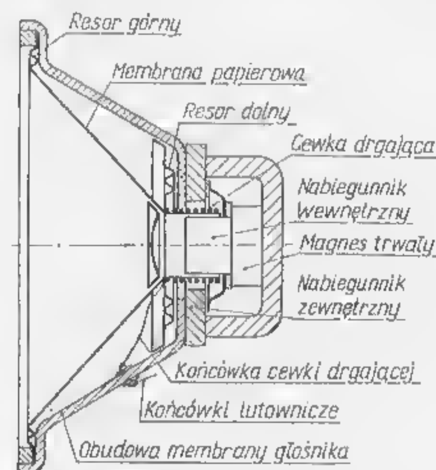
Głośnik. Głośnik typu GD-9/0,5 dynamiczny, o średnicy membrany 9 cm. Składa się on z trzech zasadniczych części; są nimi (rys. 2):

— magnes trwały z odpowiednio uformowanymi nabiegunnikami,

— membrana z cewką drgającą,

— obudowa membrany.

Nabiegunniki magnesu trwałego są w ten sposób wykonane, że jeden z nich ma kształt cylindrycznego sworznia, drugi nato-



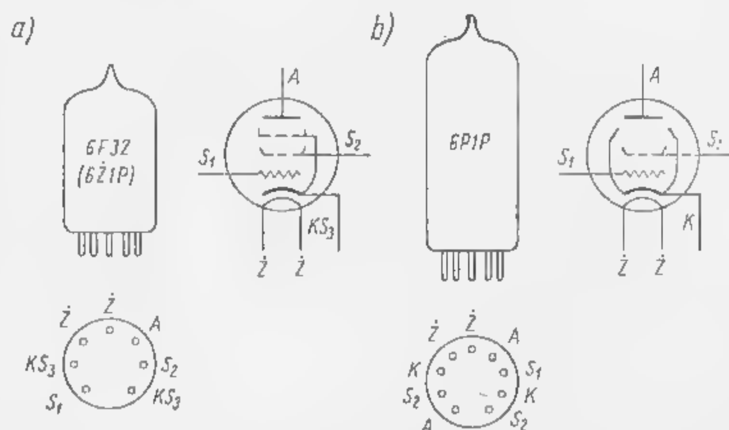
Rys. 2. Konstrukcja głośnika dynamicznego

miast — pierścienia ustawionego koncentrycznie w stosunku do sworznia. W ten sposób linie sił pola magnetycznego tego magnesu koncentrują się w szczelinie między nabiegunnikami. W szczelinie tej umieszczona jest cewka cylindryczna nawinięta na cienkim papierowym korpusie i połączona sztywno ze stożkiem papierowym zwanym membraną. Membrana umocowana jest do obudowy głośnika za pomocą elastycznych pierścieni resorujących na obu obwodach stożka: zewnętrznym (większym) i wewnętrznym (mniejszym). Resory umożliwiają swobodne drgania membrany jedynie w kierunku osi symetrii stożka, a przeciwdziałają przesunięciom bocznym, które groziłyby tarciem cewki o któryś z nabiegunników magnesu. Gdy przez cewkę głośnika

przepuścimy prąd zmienny o odpowiedniej wartości i częstotliwości akustycznej, to cewka znajdująca się w silnym polu magnetycznym zaczyna drgać i to z częstotliwością zmian tego prądu. Drgania cewki udzielają się całemu stożkowi membrany, która z kolei wprawia w ruch otaczające ją cząsteczki powietrza, powodując w ten sposób powstawanie fal głosowych.

Dźwięk będzie tym głośniejszy, im większe wychylenie będą miały drgania membrany. O wysokości powstającego tonu decyduje częstotliwość drgań membrany; im większa zatem częstotliwość drgań, tym wyższy ton wzbudzany jest przez głośnik.

Cewka drgająca głośnika ma ściśle określoną oporność dla prądu zmiennego o częstotliwości 400 Hz. W przypadku głośnika typu GD-9/0,5 jej oporność wynosi 4 Ω. Oporność cewki drgającej dopasowuje się do oporności obwodu anodowego lampy 6P1P za pomocą wyściowego transformatora małej częstotliwości (głośni-



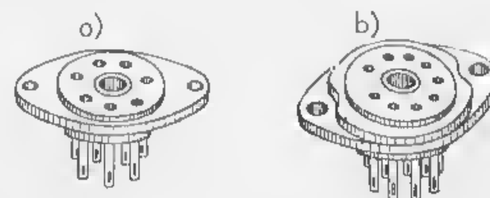
Rys. 3. Schematy lamp elektronowych: a) lampy typu 6F32 (albo 6Z1P); b) lampy typu 6P1P

kowego). Transformatora dopasowującego głośnik typu GD-9/0,5 do lampy 6P1P nie znajdziemy na rynku krajowym, dlatego też wykonamy go we własnym zakresie.

Przy kupnie — głośnik można wypróbować przez chwilowe dołączanie sprężyn kontaktowych bateryjki (od latarki kieszon-

kowej) do końcówek cewki drgającej umieszczonych na obudowie głośnika. Można też użyć do tego celu próbnika do wykrywania zwarć w kondensatorze obrotowym opisanego w broszurze pt. „Odbiornik detektorowy z diodą germanową". W momencie włączania bateryjki w obwód cewki głośnika powinno się słyszeć wyraźne trzaski.

Lampy elektronowe i gniazdka. Lampy typu 6F32 (6Z1P lub 6AK5) oraz 6P1P można nabyć bez większych trudności. Jakość lamp można zbadać na miejscu przy kupnie. Dla orientacji i porównania przedstawiono na rys. 3 schematy lamp typu 6F32 oraz 6P1P (cokoły lamp pokazane od spodu). Siedmionóżkowy cokół lampy 6F32 pasuje do gniazdka lampowego miniaturowego

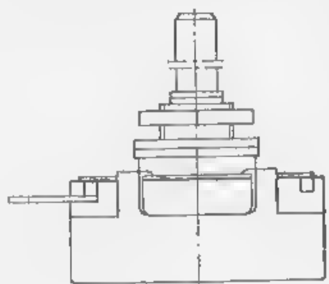


Rys. 4. Gniazdka lampowe: a) miniaturowe; b) typu „nowal"

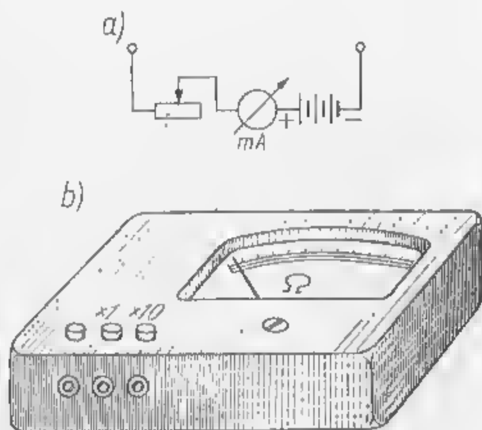
(rys. 4a). Lampę 6P1P wstawia się w gniazdko typu „nowal" (rys. 4b), które ma dziewięć kontaktów stykowych i rozmiary znacznie mniejsze niż gniazdko typu „oktal", „loktal" lub bocznokontaktowe przeznaczone pod lampy starego typu.

Potencjometry. Potencjometry 1 MΩ powinny mieć jak najmniejsze wymiary zewnętrzne. W opisanym tu wzmacniaczu przewidziano zastosowanie potencjometrów typu PM-1 (rys. 5). Większe gabaryty potencjometrów nie wpływają na jakość pracy wzmacniacza, wymagają jednak zmiany wymiarów jego obudowy, ewentualnie zmiany rozmieszczenia elementów w panelu. Przy kupnie potencjometru należy go zbadać przez powolne pokręcanie osią w obie strony, aż do oporu. Obrót osi powinien przebiegać płynnie. Wszelkie drgania i zacięcia osi wyczuwalne w palcach świadczą o tym, że powierzchnia warstwy oporowej, po której przesuwa się ślizgacz, jest uszkodzona. Pożądane jest również sprawdzenie płynności zmiany oporności za pomocą omomierza.

Omomierz, czyli przyrząd do pomiaru oporności, składa się zasadniczo z miliamperomierza i w szereg z nim połączonego źródła prądu stałego (rys. 6a). W rzeczywistości mierzy on wartość prądu płynącego przez sprawdzany opornik. Każda wartość oporności odpowiada innemu wychyleniu wskazówki miliampe-



Rys. 5. Potencjometr masowy typu PM-1

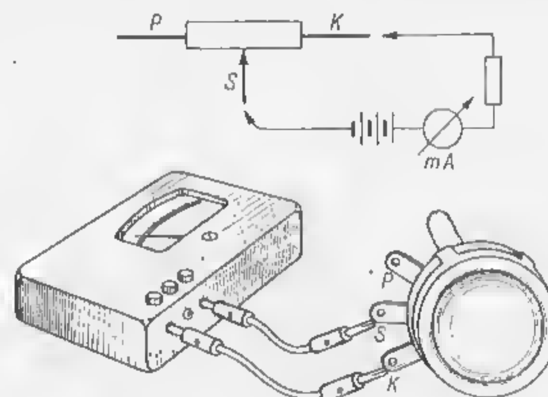


Rys. 6. Omomierz techniczny: a) schemat ideowy; b) wygląd omomierza produkcji krajowej

romierza. Im większa oporność, tym mniejszy prąd płynie przez opornik i odwrotnie, przez opornik o mniejszej oporności przepływa większy prąd. Oporności bardzo małe odpowiadają skrajnemu prawemu położeniu wskazówki miliamperomierza. Oporności bardzo duże powodują bardzo małe wychylenie wskazówki lub całkowite pozostanie jej w położeniu zerowym (skrajnym lewym).

Badanie potencjometru typu PM-1 o oporności całkowitej 1 MΩ za pomocą omomierza pokazanego na rys. 6b nie będzie zupełne; nie będziemy bowiem w stanie zmierzyć całkowitej oporności potencjometru, bo maksymalny zakres pomiarowy tego

przyrządu zamyka się w granicach do 100 kΩ, czyli 1/10 całej wartości mierzonej. Pomimo tego możemy sprawdzić czy potencjometr nie ma zwarć oraz czy odznacza się płynnością zmiany oporności na obu swych końcach najbardziej narażonych podczas pracy na uszkodzenie. Przy tych próbach należy podłączyć omomierz do ślizgacza potencjometru (końcówka *S*) i kolejno do końcówki *P* lub prawej skrajnej *K* (rys. 7). Badając potencjometr omomierzem należy zwrócić szczególną uwagę, czy możliwe



Rys. 7. Badanie potencjometru za pomocą omomierza

jest dokładne ustawienie ślizgacza dla każdej dowolnej oporności potencjometra (w granicach od 1 kΩ do 1 MΩ). Po ustawieniu go na żądaną wartość oporności przyciskanie osi potencjometra (bez jej pokręcania) nie powinno wpływać na zmianę tej oporności.

Do układów regulacji barwy dźwięku stosuje się jedynie potencjometry o logarytmicznej charakterystyce oporności, co oznacza, że wielkość oporności zmienia się logarytmicznie przy liniowej zmianie kąta obrotu osi.

Oporniki. Należy je sprawdzić, czy nie są uszkodzone mechanicznie, szczególnie czy nie mają większych rys na lakierze, które mogłyby świadczyć o uszkodzeniu znajdującej się tuż pod nim warstwy oporowej. Innym często spotykanym uszkodzeniem bywa pęknięcie lub odlamanie jednej, a nawet obu końcówek lutowniczych. Wartości oporników należy zasadniczo dobierać możliwie dokładnie, zwracając uwagę na dopuszczalną wielkość obciążenia podaną na każdym oporniku.

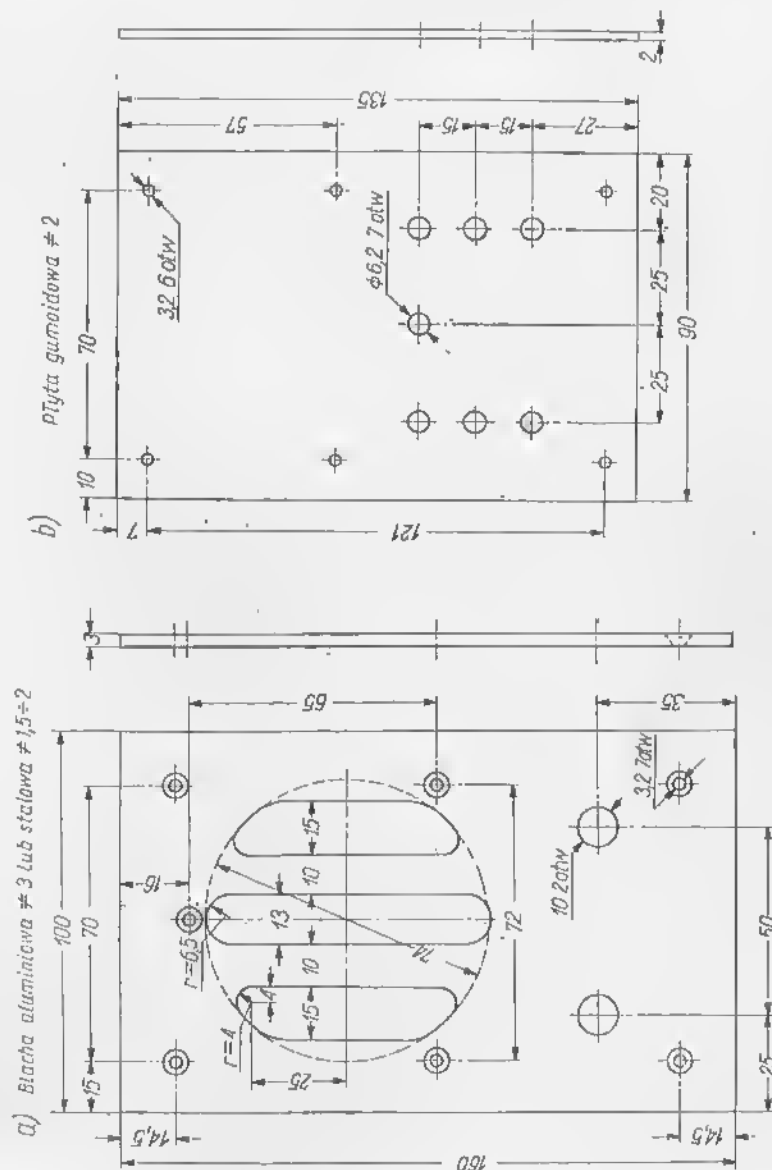
Kondensatory. Najczęściej spotykanym w nich uszkodzeniem bywa obruszone lub odłamane któreś z dwóch odprowadzeń oraz przebicie izolacji między okładzinami. Kondensator elektrolityczny można niekiedy regenerować po przebiciu, gdyż ma on między okładzinami izolację w postaci warstwy papieru nasyconego płynnym dielektrykiem (zwanym elektrolitem).

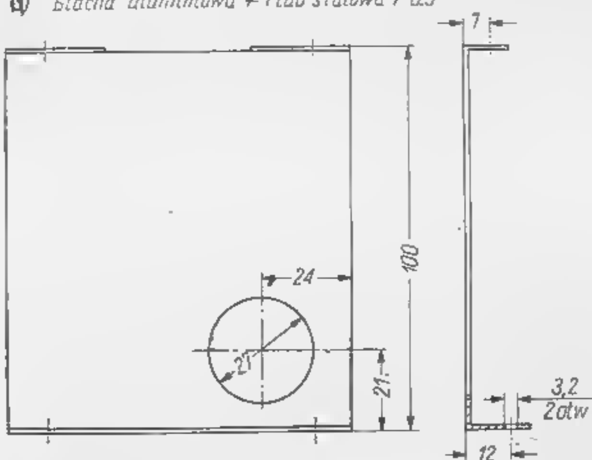
Pojemności kondensatorów mogą być nieco większe lub mniejsze od podanych. Na przykład zamiast kondensatora o pojemności 50 μF można zastosować kondensator o pojemności zarówno 16 μF, jak i 100 μF. Zamiast 0,1 μF można zastosować pojemność w granicach 0,05 μF do 0,2 μF, a zamiast 0,025 μF — pojemność od 0,01 do 0,05 μF. Natomiast pojemność 2 000 pF i 500 pF powinny być utrzymane w tych granicach możliwie dokładnie lub z małą tylko odchyłką.

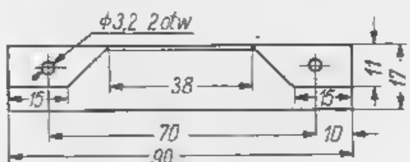
Gałki strojeniowe. Gałki (pokrętła) na osie potencjometrów mogą być dowolnego kształtu, lepiej jednak, gdy mają kształt okrągły oraz raczej małą średnicę zewnętrzną. Otwór wewnętrzny w gałce powinien mieć średnicę około 6,5 mm, a więc taką aby mogła zmieścić się w nim oś potencjometru.

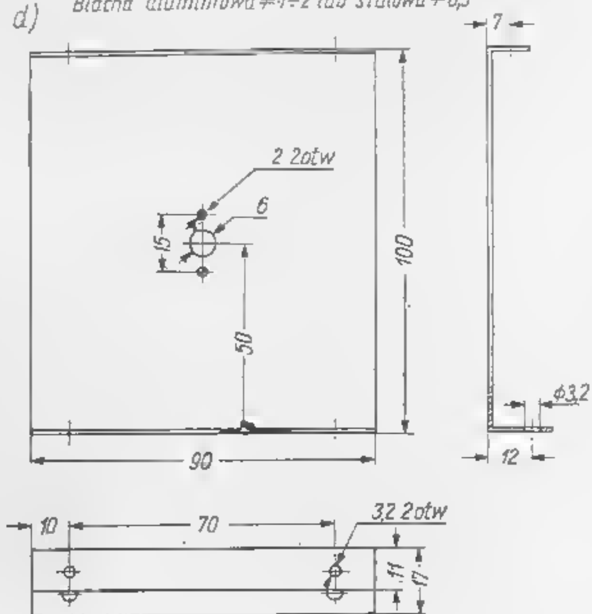
2. Przygotowanie montażu wzmacniacza

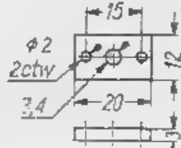
Szczegóły dotyczące obudowy panelowej wzmacniacza m.cz. podane są na rys. 8. Płytkę czołową (rys. 8a) wykonamy w miarę możliwości z blachy aluminiowej lub duraluminiowej o grubości około 3 mm. Można użyć do tego celu również blachy ocynkowanej lub stalowej o grubości około 2 mm. Pożądane jest, aby płytki czołowe wzmacniaczy wielkiej oraz małej częstotliwości, a także odbiornika detektorowego były wykonane z tego samego materiału. Samo zwymiarowanie i rozmieszczenie otworów nie nasuwa tu żadnych wątpliwości. Pewną trudność może stwarzać wykonanie trzech podłużnych otworów w miejscu, w którym ma być umocowany głośnik do płyty czołowej. Po wytrasowaniu tych otworów wiercimy po wewnętrznej stronie ich obrysu otwo-

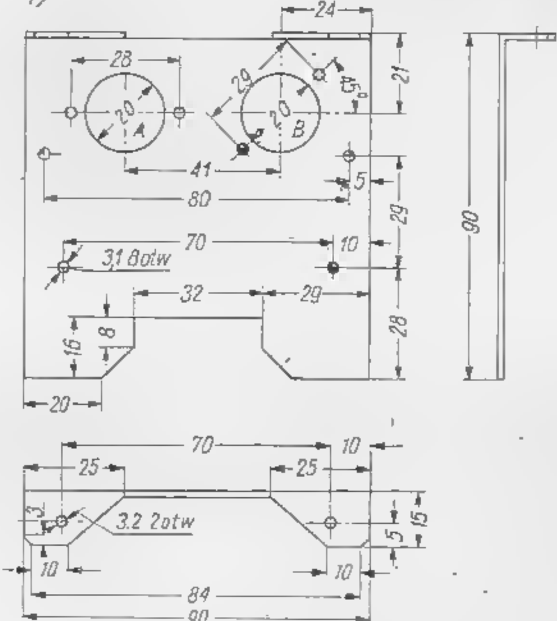


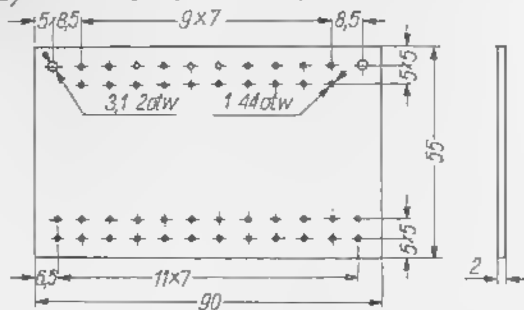


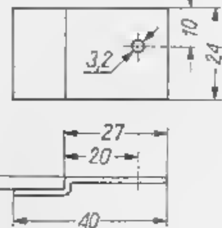


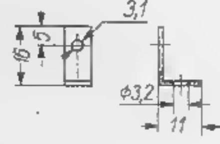










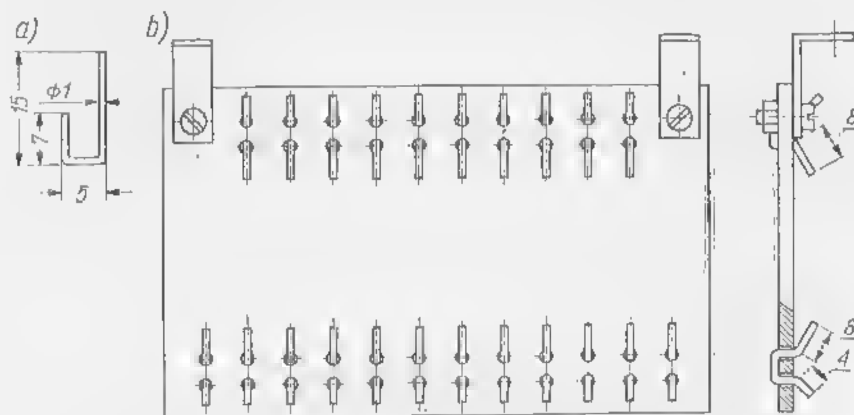


Rys. 8. Części składowe obudowy panelowej wzmacniacza m. cz. a) płytka czołowa: b) płytka tylna; c) płytka górna; d) płytka dolna; e) nakładka; f) chassis; g) płytka montażowa; h) kątownik; i) uchwyt do głośnika

ry (jeden przy drugim) o średnicy około 3,5—4 mm. Następnie zbędne pozostałości wypiłowujemy pilnikiem (płaskim i okrągłym) aż do linii obrysu. Krawędzie w ten sposób wykonanych otworów podłużnych należy lekko stępić. Gotową płytkę pokrywamy takim samym lakierem, jaki był użyty do pomalowania płytek czołowych w odbiorniku detektorowym oraz wzmacniaczu w.cz.

Najbardziej pracochłonne będzie wykonanie chassi i płytki montażowej (rys. 8f, g). Przy sporządzaniu wszystkich elementów obudowy należy pamiętać, że najpierw dopasowuje się zewnętrzne ich wymiary, potem wykonuje się zagięcia i wreszcie na końcu trasuje się i wierci otwory. Należy zwrócić uwagę również na dokładne rozstawienie wszystkich otworów.

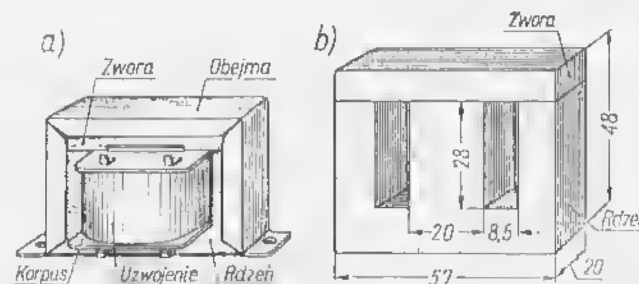
Na płytce dolnej (rys. 8d) od strony wewnętrznej (czyli od strony, w którą płytka jest zagięta) umocowujemy nakładkę (rys. 8e) za pomocą nitów aluminiowych lub miedzianych, a w jej otworze środkowym ⌀ 3,4 nacinamy gwint M4.



Rys. 9. Płytka montażowa: a) końcówka lutownicza; b) płytka kompletna

Następnie obsadzamy końcówki lutownicze w płytce montażowej zgodnie z rys. 9. Końcówki lutownicze z drutu miedzianego (⌀ 1 mm), o ile możności srebrzonego lub cynowanego, ukształtowane według rys. 9a, umieszczamy w odpowiednich otworach (rys. 9b) i odginamy. Po obsadzeniu końcówek przycinamy je na jednakową — podaną na rysunku — długość. Następnie do płytki przykręcamy kątowniki (rys. 8h) w sposób uwidoczniony na rys. 9b.

Jedną z zasadniczych części składowych, którą trzeba wykonać samemu jest transformator głośnikowy. Związana z tym praca będzie polegała właściwie na nawinięciu nowych uzwojeń na gotowy rdzeń transformatora. W tym celu zaopatrzymy się w transformator głośnikowy (rys. 10a) o kształcie i wymiarach rdzenia podanych na rys. 10b. Transformator ten należy rozebrać

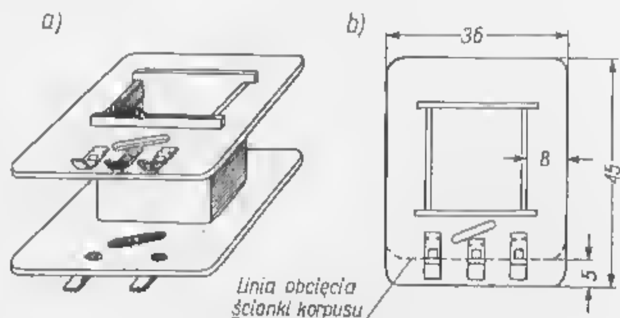


Rys. 10. Transformator głośnikowy: a) wygląd ogólny; b) kształt i wymiary rdzenia

na poszczególne części. W tym celu delikatnie zdejmujemy obejmę, nie wyjmując z niej zwory rdzenia. Z pakietu blach, tworzących rdzeń właściwy, można teraz z łatwością zsunąć korpus z uzwojeniem transformatora. Podczas odwijania niepotrzebnego nam uzwojenia mamy okazję do przekonania się, jak było ono nawinięte, jak odizolowane były od siebie poszczególne warstwy uzwojenia, jaką miały one szerokość, jakie odległości były zachowane między uzwojeniem a ściankami korpusu, jak były odprowadzone początki i końce uzwojeń. Po zdjęciu uzwojeń wskazane jest dokładne oczyszczenie korpusu (szpuli) szmatką nasyconą spirytusem denaturowanym.

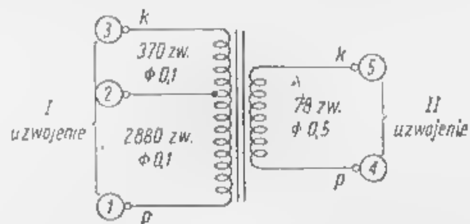
Transformatory głośnikowe o kształcie i wymiarach rdzenia uwidocznionych na rys. 10b są nawinięte przeważnie na korpusach, których wygląd przedstawiony jest na rys. 11. Ze względu na dużą zwartość konstrukcji wzmacniacza, górną ściankę korpusu skrócimy o 5 mm. W tym celu trzeba usunąć trzy umocowane tam końcówki lutownicze, a następnie obciąć ściankę po

linii oznaczonej na rys. 11b. Korpus wykonany jest z odpowiednio wyciętych kawałków gumoidu, zatem obróbka ta nie nastręczy specjalnych trudności. Po obcięciu, rogi ścianki należy zaokrąglić, upodabniając je do dwóch pozostałych rogów.



Rys. 11. Korpus transformatora: a) wygląd ogólny; b) linia obcięcia górnej ścianki korpusu

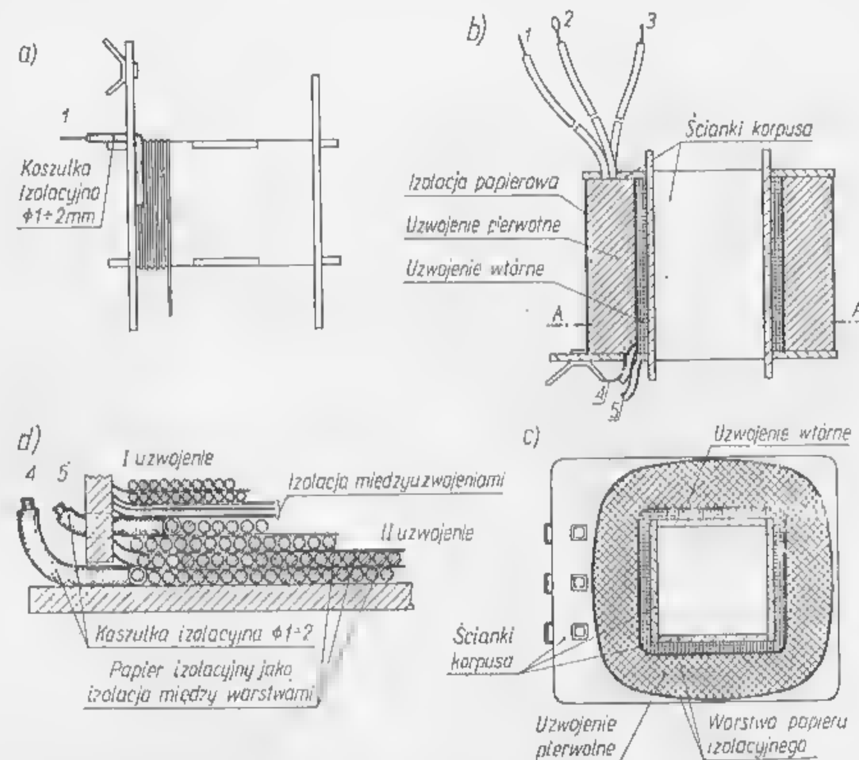
Teraz możemy już przystąpić do nawijania transformatora, którego schemat ideowy oraz dane techniczne uwidoczniono na rys. 12, a sposób nawinięcia — na rys. 13. Uzwojenie pierwotne



Rys. 12. Schemat ideowy transformatora głośnikowego

powinno liczyć 3250 zwojów drutu nawojowego o średnicy 0,1 mm (DNE Φ 0,1) w emalii i mieć odczep na 2880 zwoju, uzwojenie wtórne natomiast 78 zwojów drutu Φ 0,5 mm (DNE Φ 0,5) w emalii.

Transformator ten obliczony jest dla dwóch warunków pracy lampy 6P1P: przy napięciu anodowym 100 woltów ($R_0 = 7$ kΩ) oraz przy napięciu anodowym 180 woltów ($R_0 = 5,5$ kΩ). Dopasowuje on oporność cewki głośnika, wynoszącą 4 Ω dla prądu zmiennego o częstotliwości 1000 Hz, do lampy ze względu na jej optymalne warunki pracy. Dopasowanie przy dwóch różnych punktach pracy lampy głośnikowej umożliwia zmianę napięcia zasilania układu oraz zastosowanie głośnika o większej mocy (do 2 watów).



Rys. 13. Sposób nawijania transformatora głośnikowego: a) nawijanie uzwojenia wtórnego; b) szczegóły nałożenia uzwojeń i izolacji: 1, 2, 3 — końce i odczep uzwojenia pierwotnego, 4, 5 — końce uzwojenia wtórnego; c) przekrój poprzeczny przez uzwojenie transformatora po linii A-A oznaczony na rys. 13b; d) przedstawiony w powiększeniu fragment rys. 13b

W celu powiększenia sprzężenia pomiędzy uzwojeniem pierwotnym i wtórnym nawiniemy jako pierwsze uzwojenie wtórne, a następnie pierwotne jako drugie. Początek i koniec uzwojenia

wtórnego wyprowadzamy przez podłużny otwór w nieobciętej ściance korpusu. Na początek uzwojenia nakładamy koszulkę izolacyjną, o długości około 5 mm. Koniec drutu powinien wystawać z korpusu na około 3 centymetry. Drut nawijamy ściśle zwój obok zwoja. Pierwszą warstwę nawijamy na całej długości szpuli. Każdą nawiniętą warstwę owijamy paskiem papieru izolacyjnego, możliwie jak najcieńszego. Nadaje się do tego celu bibułka, jednakże najlepszą izolacją jest cienki papier kondensatorowy, który można uzyskać z rozwiniętego kondensatora papierowego. Pasek papieru izolacyjnego powinien mieć szerokość równą długości szpuli (czyli odległości między ściankami korpusu). Następne warstwy uzwojenia nawijamy w ten sposób, aby po ich obu brzegach pozostawała wolna przestrzeń między skrajnymi zwojami a ściankami korpusu. Między poszczególne warstwy zwojów należy stosować ilozację w postaci jednej warstwy papieru kondensatorowego. Koniec wtórnego uzwojenia wyprowadzamy w koszulce izolacyjnej po tej samej stronie korpusu, co i początek. Izolacja między uzwojeniem wtórnym a pierwotnym powinna być znacznie grubsza; dlatego też uzwojenie wtórne owijamy kilkakrotnie papierem kondensatorowym. Pożądane byłoby użycie do tego celu izolacyjnej ceratki olejowej. Dwie lub trzy warstwy takiej ceratki wystarczą w zupełności.

Teraz rozpoczynamy nawijanie uzwojenia pierwotnego. Początek, odczep i koniec uzwojenia wyprowadzamy z przeciwnej strony korpusu przez specjalnie do tego celu wykonany otwór. Odprowadzenia powinny mieć długość przynajmniej 12 cm i być osłonięte koszulką izolacyjną. Uzwojenie pierwotne, tak jak i wtórne, powinno być nawijane warstwami izolowanymi od siebie papierem. Obowiązują tu również odstępy między skrajnymi zwojami warstw a ściankami korpusu.

Na ogół w transformatorach głośnikowych nie stosuje się izolacji między warstwami uzwojenia (takie uzwojenie nazywa się „masowe"). Ma to na celu zmniejszenie objętości uzwojenia, a tym samym umożliwienia zastosowania rdzenia o mniejszych rozmiarach. Z izolacji tej możemy zrezygnować dlatego że spadek napięcia składowej stałej i składowej zmiennej na całym uzwojeniu pierwotnym transformatora jest stosunkowo mały i nie przekracza 100 woltów. Dopuszczalna wartość napięcia, jakie

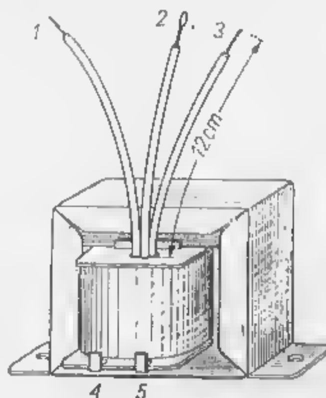
wytrzymuje w pracy ciągłej pojedyncza warstwa emalii, pokrywająca powierzchnię drutów nawojowych wynosi 60 woltów. Gdyby przy braku izolacji między warstwami koniec uzwojenia zetknął się z jego początkiem, to wtedy napięcie 100 woltów przypadłoby na dwie warstwy emalii (jedna warstwa na jednym drucie, a druga na drugim). Taki przypadek może się zdarzyć jedynie przy bardzo niestarannym nawijaniu transformatora. Należy jednak pamiętać, że z izolacji tej można zrezygnować tylko pod warunkiem, iż do nawijania zastosujemy drut o pewnej nieuszkodzonej izolacji.

Odczep na 2880 zwojów wykonujemy nie przerywając drutu, czyli po prostu robimy pętlę, którą skręcamy i w nasuniętej koszulce izolacyjnej wyprowadzamy na zewnątrz korpusu (*2* na rys. 13b). Po nawinięciu 3250 zwojów, koniec drutu — również w koszulce izolacyjnej — wyprowadzamy na zewnątrz po tej samej stronie korpusu co początek. Całość uzwojenia owijamy kilkakrotnie ceratką izolacyjną lub cienkim preszpanem, których koniec przyklejamy. Początek i koniec uzwojenia wtórnego (*4* i *5* na rys. 13b) możemy teraz przylutować do końcówek lutowniczych, znajdujących się na ściance korpusu. Cewka transformatora jest już gotowa, trzeba tylko jeszcze sprawdzić, czy nie ma w niej przypadkowych zwarć między uzwojeniami i czy nie został zerwany drut któregoś z uzwojeń podczas nawijania. Pomocny w tym będzie wspomniany już poprzednio próbnik do wykrywania zwarć. Najpierw jedną końcówkę próbnika łączymy z którymś końcem uzwojenia wtórnego, a drugą z jednym końcem uzwojenia pierwotnego. Żaróweczka wtedy nie powinna świecić. Jeżeli zaś końcówkami próbnika dotkniemy do obu końców tego samego uzwojenia, to przy badaniu uzwojenia wtórnego żaróweczka będzie świecić normalnie, a w przypadku uzwojenia pierwotnego — nieco ciemniej (ponieważ duża ilość zwojów drutu przedstawia już znaczną oporność nawet dla prądu stałego).

Po upewnieniu, się, że uzwojenia zostały dobrze wykonane, możemy przystąpić do złożenia transformatora. Najpierw od strony ścianki korpusu z końcówkami lutowniczymi wkładamy do niego pakiet blach typu E, potem zaś od drugiej strony nakładamy zworę z obejmą. Między zworą i rdzeń należy włożyć jedną warstwę cienkiego papieru. Będzie to szczelina magnetyczna za-

bezpieczająca rdzeń przed dojściem do stanu nasycenia strumieniem magnetycznym (jaki powstaje od płynącej w transformatorze składowej stałej prądu anodowego lampy głośnikowej), co spowodowałoby zniekształcenia wzmacnianego sygnału.

W celu uniknięcia błędnego złożenia transformatora głośnikowego, należy przed rozpoczęciem tej czynności dokładnie rozpatrzyć rys. 14. Szczególną uwagę należy zwrócić na położenie



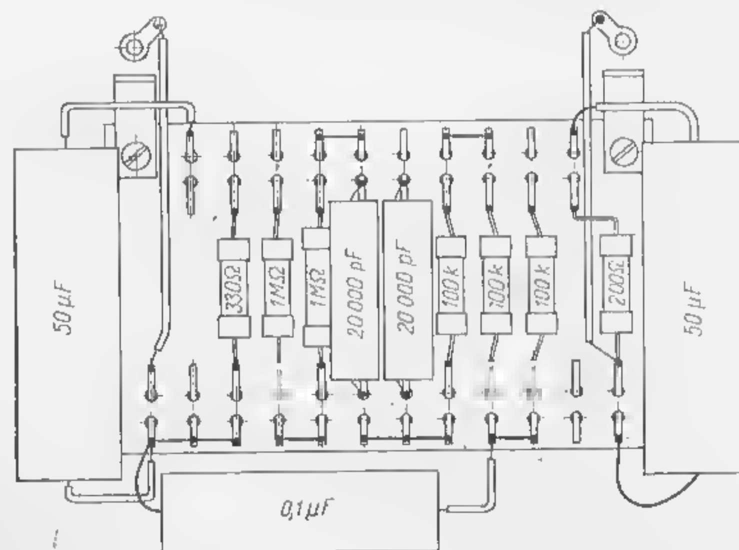
Rys. 14. Transformator głośnikowy kompletny

wyprowadzeń uzwojenia pierwotnego (*1*, *2*, *3* na rys. 13b) w stosunku do obejmy, od której zależy usytuowanie tego transformatora na chassis wzmacniacza.

Z kolei przystępujemy do umocowania kondensatorów i oporników na płytce montażowej według rys. 9. Zastosowanie takiej płytki znakomicie upraszcza i ułatwia sam montaż układu. Pozwala bowiem uniknąć przypadkowych zwarć między poszczególnymi elementami (zwłaszcza w układach elektronicznych o bardziej skomplikowanej konstrukcji), a poza tym zmniejszyć objętość układu, nie mówiąc już o bardziej estetycznym wyglądzie aparatury.

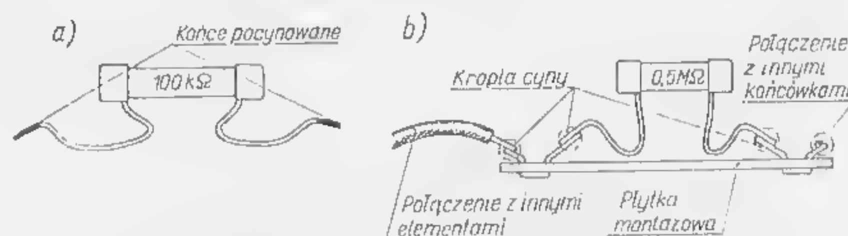
Rozmieszczenie kondensatorów i oporników na płytce montażowej przedstawia rys. 15, a sposób ich umocowania — na rys. 16. Przy lutowaniu poszczególnych oporników do końcówek lutowniczych na płytce montażowej należy uważać, aby nie przegrzewać zbytnio oporników przez długie ich grzanie kolbą

(lutownicą). Może to bowiem spowodować zmianę wartości oporności opornika, obluzowanie się lub pęknięcie jego końcówki, a w końcu całkowitą nieprzydatność opornika. Trzeba pamiętać



Rys. 15. Rozmieszczenie kondensatorów i oporników na płytce montażowej

o zachowaniu możliwie najdłuższych końcówek opornika oraz o oczyszczeniu i ocynowaniu ich przed lutowaniem. Końcówki oporników nie powinny być krótsze niż 15 ÷ 20 mm. Przycinamy



Rys. 16. Sposób umocowania oporników na płytce montażowej: a) kształtowanie końcówek opornika; b) lutowanie na płytce montażowej

je na taką długość (o ile z samego montażu nie wynika, że powinny być dłuższe), dokładnie czyścimy ich końce nożem lub drobno naciętym pilnikiem, aż do uzyskania czystej powierzchni

metalu. Cynowanie jednej końcówki powinno trwać tylko parę sekund. Jeżeli cynowanie końcówek nastręcza jakąś trudność, należy to robić z przerwami potrzebnymi na ostudzenie zbyt nagrzanych końców. Po ukończeniu cynowania wszystkich elementów w miejscach przeznaczonych do zlutowania kształtujemy końcówki oporników według rys. 16a, a następnie przykładamy je do końcówek na płycie montażowej i lekko podgrzewamy ostrzem lutownicy. Wtedy cyna nabrana uprzednio na ostrze lutownicy spływa na złącze i formuje kroplę łączącą oba elementy lutowane. Zewnętrzne końce końcówek lutowniczych przeznaczone są do zlutowania z nimi przewodów, łączących oporniki i kondensatory z innymi elementami układu. Można również do nich lutować dodatkowe przewody łączące z innymi końcówkami na tej samej płycie montażowej (rys. 16b).

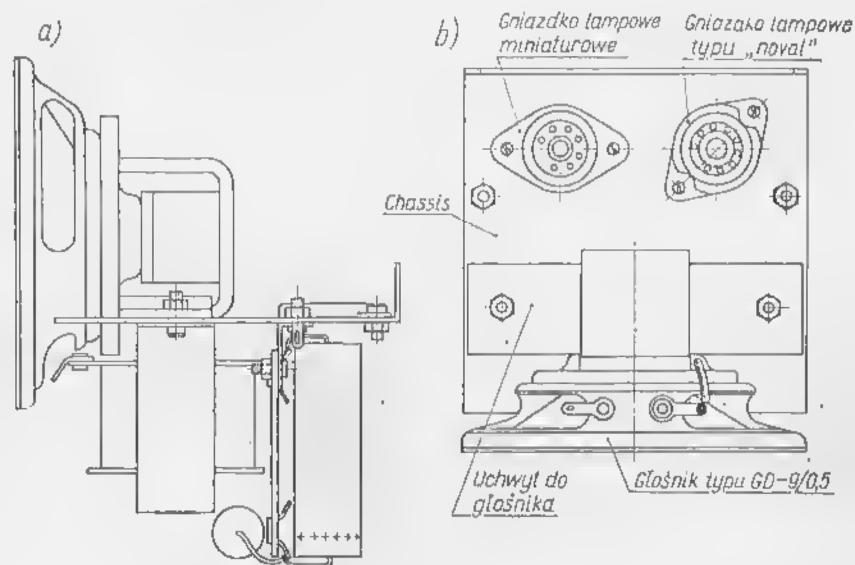
Na rysunku 15 uwidoczniono przylutowane do dwóch górnych skrajnych końcówek dwa przewody uziemiające zakończone końcówkami lutowniczymi. Przeznaczone są one do przykręcenia (wkrętami) płytki do chassis. W razie braku końcówek lutowniczych należy przewidzieć przewód nieco dłuższy (o 1 cm), aby można było zrobić z niego ucho, które podłożymy pod wkręt.

3. Montaż wzmacniacza

Właściwy montaż rozpoczynamy od montażu mechanicznego. Polega on na złożeniu i skręceniu (wkrętami M3) głównego zespołu według rys. 17. Do chassis od strony zagięcia w otworze oznaczonym literą *A* przykręcamy miniaturowe gniazdko lampowe, a w otworze oznaczonym literą *B* — gniazdko typu „nowal". Gniazdka lampowe należy przykręcić w sposób uwidoczniony na rys. 17, zwracając uwagę na usytuowanie luki między końcówkami gniazdka względem chassis. Następnie od góry przykręcamy do chassis głośnik, stosując do tego celu dwa uchwyty (rys. 8i). Tymi samymi wkrętami przykręcamy od spodu transformator głośnikowy (rys. 14). Transformator powinien być zwrócony końcówkami w stronę głośnika.

Teraz w oparciu o schemat montażowy na rys. 18 należy wykonać część montażu elektrycznego.

Najpierw przylutujemy skręcone z sobą przewody żarzenia do gniazdek obu lamp i pozostawimy końce, aby można je było przykręcić do gniazdek na tylnej płytce wzmacniacza. Następnie

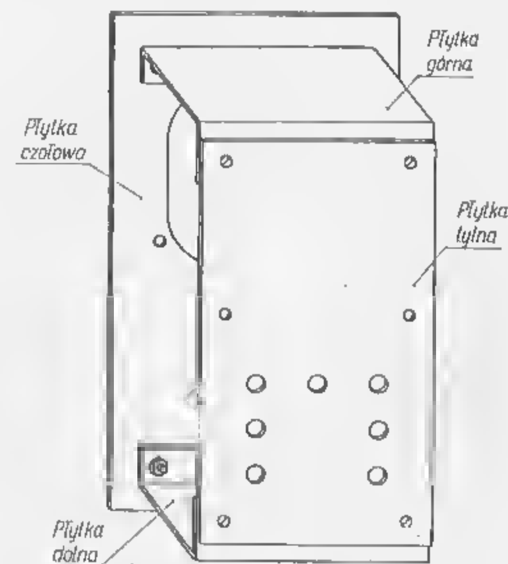


Rys. 17. Główny zespół montażowy: a) wygląd zespołu z boku; b) wygląd z góry

łączymy poszczególne elementy na płytce montażowej z końcówkami gniazdek lampowych, po czym płytkę montażową przykręcamy (dwoma wkrętami) od spodu do chassis obok transformatora głośnikowego. Anodę lampy 6P1P łączymy z początkiem uzwojenia pierwotnego (*1* na rys. 13b) transformatora głośnikowego. Koniec tego uzwojenia (*3* na rys. 13b) pozostawiamy na razie wolny (w celu późniejszego podłączenia do odpowiedniego gniazdka na tylnej płytce wzmacniacza). Odczep uzwojenia pierwotnego (*2* na rys. 13b) izolujemy kawałkiem koszulki izolacyjnej i przyklejamy plastrem (przylepcem) do korpusu transformatora, aby wykluczyć przypadkowe zwarcie z masą. Początek uzwojenia wtórnego (*4* na rys. 13b) lutujemy do jednej z koń-

Rys. 18. Schemat montażowy wzmacniacza m. cz.

cówek cewki drgającej głośnika, odizolowanej od jego obudowy. Druga końcówka tej cewki jest zwarta z obudową głośnika, a głośnik — z chassis wzmacniacza. Dlatego też drugi koniec uzwojenia wtórnego wystarczy połączyć z chassis, które stanowi dalszą część połączenia z cewką głośnika. W dalszym ciągu — wykonujemy resztę połączeń między elementami według schematu montażowego. Końce przewodów, które powinny być połą-

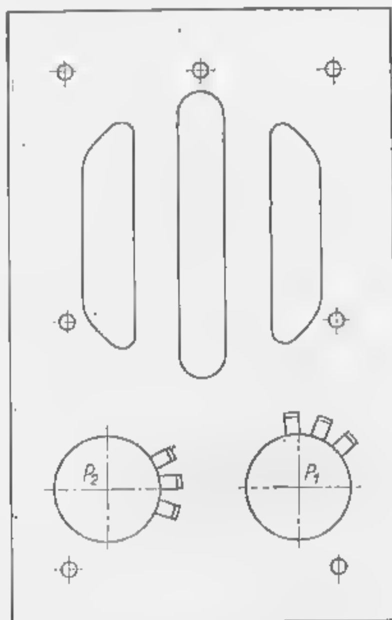


Rys. 19. Widok ogólny panelu

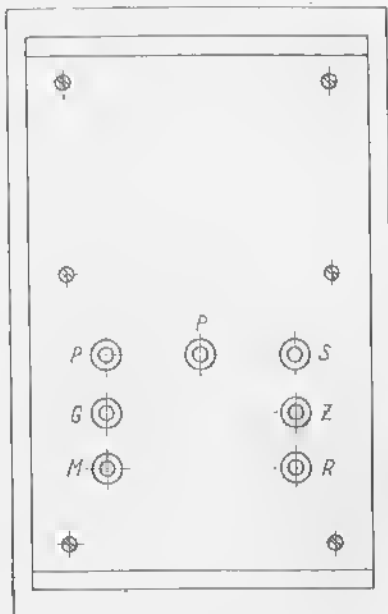
czone z gniazdkami na płytce tylnej lub z potencjometrami P_1 i P_2 pozostawiamy na razie wolne. (Długość tych przewodów podana jest w milimetrach na rys. 18).

Dalszą fazą montażu będzie złożenie panela według rys. 19. Płytkę górną oraz dolną przykręcamy od strony węższych zagięć do płytki czołowej wkrętami M3 × 8 z łbem wpuszczanym. Płytkę tylną przykręcamy do płytek górnej i dolnej wkrętami M3 × 8 z łbami cylindrycznymi. Następnie w dwóch otworach (⌀ 10) w płytce czołowej umocowujemy dwa potencjometry: P_1 i P_2. Płytkę czołową zaciskamy między dwiema nakrętkami od przodu i od tyłu (podobnie jak w przypadku przykręcania przełącznika

zakresów fal przy montażu odbiornika detektorowego). Sposób ustawienia tych potencjometrów pokazano na rys. 20. Do płytki tylnej w siedmiu otworach (⌀ 6,2) przykręcamy siedem gniazdek telefonicznych typu G-1. Jedną nakrętkę dokręcamy silnie, a dru-



Rys. 20. Ustawienie potencjometrów na płytce czołowej

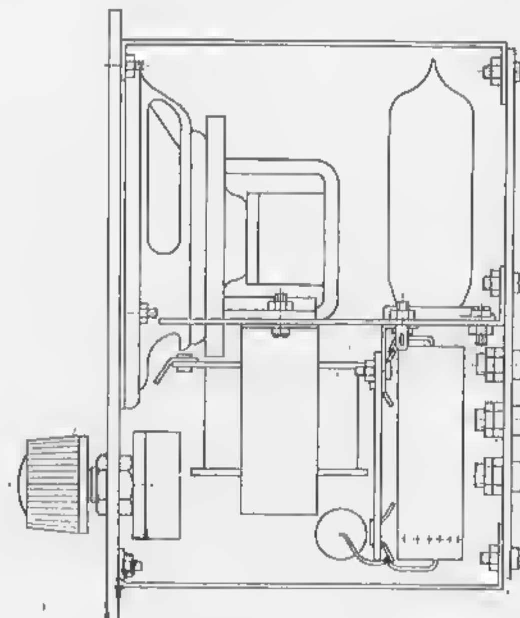


Rys. 21. Oznaczenie gniazdek na płytce tylnej

gą zupełnie lekko (gdyż zaciśniemy nią końce przewodów połączeniowych w dalszej fazie montażu). Gniazdka na płytce tylnej oznaczamy literami wyciętymi ze starych czasopism (drukowanych na lepszym papierze) i naklejonymi obok gniazdek lakierem bezbarwnym „nitro". Po naklejeniu oznaczeń według rys. 21 pokrywamy je warstwą tegoż lakieru i odstawiamy panel do wyschnięcia.

Z kolei wkładamy zespół główny do panela i przykręcamy go do płytki czołowej (rys. 22) trzema wkrętami poprzez osłonę głośnika. Do płytki tylnej przykręcamy zespół główny (dwoma wkrętami) zagiętą krawędzią chassis. Zanim jednak to uczynimy trzeba sprawdzić, czy ze względu na zwartość konstrukcji zespołu

głównego pasuje on dokładnie do panela. Może się bowiem zdarzyć, że potencjometry zbyt odstają od płytki czołowej i przy wkładaniu zespołu głównego do panelu zaczepiają o transformator głośnikowy. W tym przypadku oś potencjometru należy bar-



Rys. 22. Widok ogólny całego wzmacniacza

dziej wysunąć na zewnątrz płytki czołowej. Nieodpowiednie ustawienie elementów na tej płytce również może być przyczyną trudności w umieszczeniu zespołu głównego w panelu. Gdy się już uporamy z tymi trudnościami, przystępujemy do przykręcenia głośnika do płytki czołowej. Między płytki i głośnik należy umocować gęstą siatkę plastykową lub kawałek brokatu, aby przysłonić otwory i nadać wzmacniaczowi estetyczny wygląd.

Teraz trzeba połączyć wszystkie pozostawione (wolne) końce przewodów w zespole głównym z odpowiednimi gniazdkami na tylnej płytce i z końcówkami potencjometrów, znajdujących się na płytce czołowej. Należy przy tym zwrócić uwagę aby po przykręceniu tylnej płytki panelu znajdujące się na niej gniazdka

nie zwierały żadnych elementów w zespole głównym, oraz aby końce przewodów zaopatrzone w końcówki lutownicze lub zagięte w „oczka" były solidnie przykręcone do chassis płytki czołowej lub innej części panela. Zasadniczo montaż wzmacniacza jest już zakończony; pozostały jeszcze do wykonania trzy krótkie sznury połączeniowe według rys. 23. Mają one służyć do łączenia

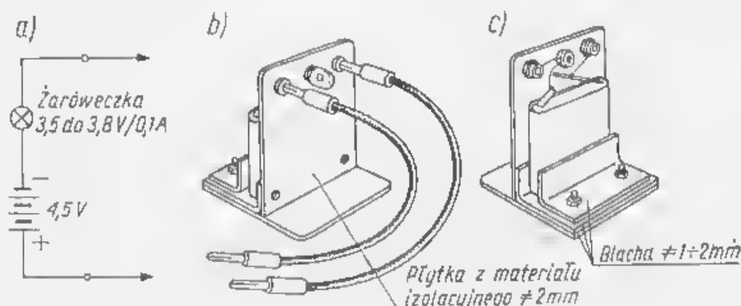


Rys. 23. Sznur połączeniowy

wzmacniacza z poprzedzającymi go stopniami odbiornika. Sznury te wykonujemy z giętkiej linki miedzianej o długości 12 cm, w gumie lub igelicie. Końce sznurów osadzamy wę wtyczkach bananowych.

4. Uruchomienie wzmacniacza i jego obsługa

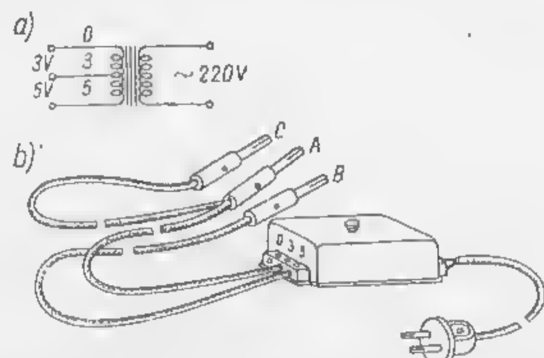
Pierwszą czynnością po zakończeniu montażu będzie dokładne sprawdzenie wszystkich połączeń we wzmacniaczu według rys. 18. Pomoże nam w tym próbnik do wykrywania zwarć (rys. 24). Możemy nim zbadać, czy nie ma przerwy w uzwojeniu transformatora głośnikowego, czy któreś z uzwojeń transformatora nie jest zwarte z rdzeniem, jego obejmą lub panelem wzmacniacza. W tym przypadku żaróweczka próbnika będzie świeciła. Przy tego rodzaju próbach trzeba oczywiście dokładnie rozpatrzyć schemat układu i zastanowić się nad tym, co się chce zbadać i jak się do tego zabrać, aby nie popełnić jakiegoś błędu w przewidywaniu wyniku badania. Przede wszystkim trzeba zbadać prawidłowość połączeń obwodu zasilania grzejników lamp elektronowych (obwodu żarzenia) i ich obwodów anodowych. Obwód żarzenia lamp sprawdzamy w sposób następujący. Wtyczki próbnika wkładamy do gniazdek oznaczonych literami *G* i *M* (rys. 17). Żaróweczka próbnika nie powinna się wtedy świecić. Przepływ prądu wykaże próbnik dopiero po włączeniu przynajmniej jednej lampy. Oznacza to, że obwód żarzenia jest zamykany tylko przez włókno grzejnika lampy elektronowej. Badanie



Rys. 24. Próbnik do wykrywania zwarć: a) układ elektryczny; b) widok z przodu; c) widok z tyłu

obwodu anodowego polega na stwierdzeniu, czy przypadkiem przewody zasilania anodowego nie są zwarte z masą wzmacniacza. Zwarcie takie może być spowodowane zarówno przez przypadkowe zetknięcie się elementów składowych tego obwodu z innymi elementami składowymi lub masą wzmacniacza, jak i przez uszkodzenie lub przebicie kondensatora blokującego ten obwód. Należy sprawdzić czy końcówki gniazdek lampowych kontaktujące z anodami i siatkami ekranującymi obu lamp są dobrze odizolowane od innych elementów składowych wzmacniacza. Podobnie sprawdzamy próbnikiem stan izolacji między poszczególnymi końcówkami gniazdek lampowych. W żadnym z tych przypadków żaróweczka próbnika nie powinna świecić. Trzeba dokładnie obejrzeć płytkę z opornikami i kondensatorami i sprawdzić czy sąsiednie elementy nie są zwarte ze sobą. Przy badaniu zwrócić należy uwagę na fakt, że niektóre sąsiednie końcówki na płytce montażowej powinny być zwarte ze sobą przewodem i wtedy próbnik powinien wskazać zwarcie. Następnie wkładamy wtyczki próbnika do jednego z gniazdek oznaczonych literą *P* i do gniazdka z literą *W*; żaróweczka próbnika nie powinna świecić.

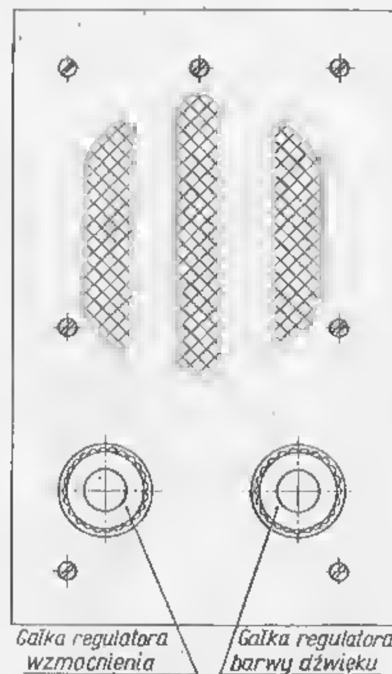
Teraz sprawdzamy jeszcze prawidłowość podłączenia transformatora głośnikowego. Jedną wtyczkę próbnika wkładamy w gniazdko (*P*), a drugą dotykamy końcówki anodowej w gniazdku lampy 6P1P. W momencie dotykania powinniśmy usłyszeć w głośniku stukanie. Jeżeli wynik sprawdzenia wypadnie pomyślnie, możemy wetknąć lampy do właściwych gniazdek i przystąpić do uruchomienia wzmacniacza.



Rys. 25. Transformator do żarzenia grzejników lamp elektronowych: a) schemat ideowy transformatora; b) sposób wykonania i podłączenia sznurów połączeniowych do transformatora

Do żarzenia grzejników lamp użyjemy transformatorka dzwonkowego zasilanego z sieci prądu zmiennego o napięciu 220 V. (Sposób podłączenia tego transformatorka do sieci i przygotowania sznurów połączeniowych (rys. 25) opisany został szczegółowo w broszurze pt. „Wzmacniacz wielkiej częstotliwości"). Przewody uzwojenia wtórnego transformatorka łączymy z gniazdkami oznaczonymi literami *M* i *G* (rys. 21), a uzwojenie pierwotne zakończone wtyczką — z gniazdkiem sieciowym. Po upływie minuty katody lamp powinny być dostatecznie nagrzane (kolor jasnowiśniowy). Wtedy dopiero podłączymy baterię anodową 67,5 V lub 120 V. Minus baterii należy dołączyć do gniazdka *R*, a plus do wolnego gniazdka *P* (rys. 21). W momencie włączenia napięcia anodowego powinniśmy usłyszeć wyraźne puknięcie w głośniku. Jeśli teraz przekręcimy gałkę regulatora wzmocnienia (potencjometr P_1) — (rys. 26) w prawe skrajne położenie,

to powinniśmy usłyszeć cichy szum. Szum ten ścichnie, jeżeli gałkę tego regulatora przekręcimy w lewe skrajne położenie. Przekręcimy ponownie gałkę w prawo na maksimum wzmocnienia i dotykamy palcem gniazdka *S* (rys. 21); powinno się wtedy słyszeć silne brzęczenie, które oznacza, że wzmacniacz pracuje prawidłowo.

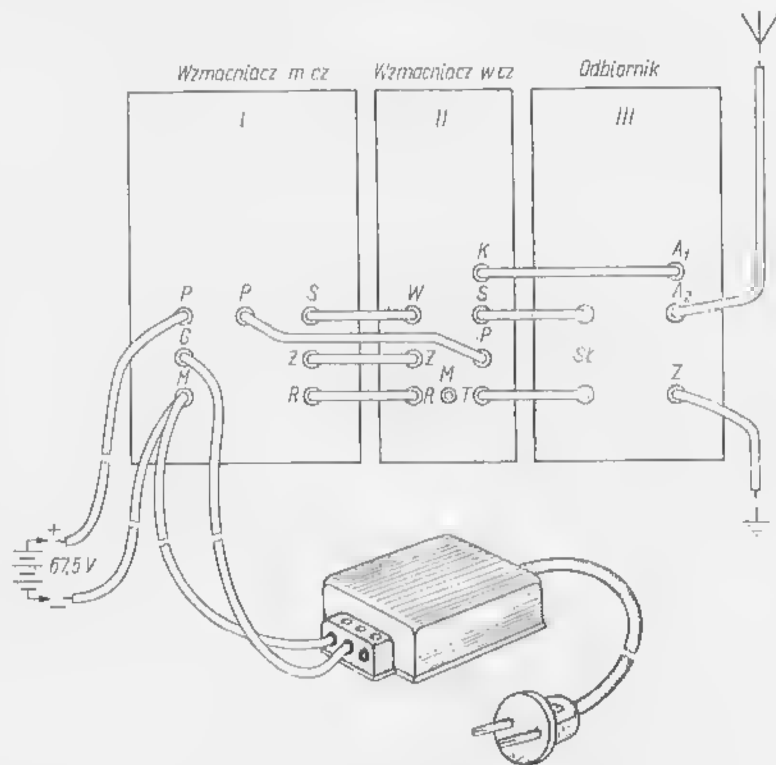


Rys. 26. Widok wzmacniacza m. cz. z przodu

Po dokonanych próbach przystępujemy do przyłączenia wzmacniacza m. cz. do pracującego już zestawu odbiornika. Odpowiednie połączenia wykonujemy zgodnie z rys. 27.

Ze względu na konieczność włączenia zmontowanego wzmacniacza m. cz. do zasilacza dotychczasowe połączenia obu poprzednio wykonanych członów muszą nieco ulec zmianie. Mianowicie transformator żarzeniowy łączymy z gniazdkami *M* i *G* wzmacniacza m. cz., a baterię anodową przełączamy na gniazdka *M* i *P*

tegoż wzmacniacza. Należy tu przypomnieć, że w opisie sposobu zasilania wzmacniacza wielkiej częstotliwości omówione było wykonanie specjalnych dwóch sznurów łączeniowych zakończonych wspólną wtyczką. Tę właśnie wtyczkę (*A*) wkładamy do gniazdka *M*. Jeden ze sznurów połączony jest z transformatorem ża-



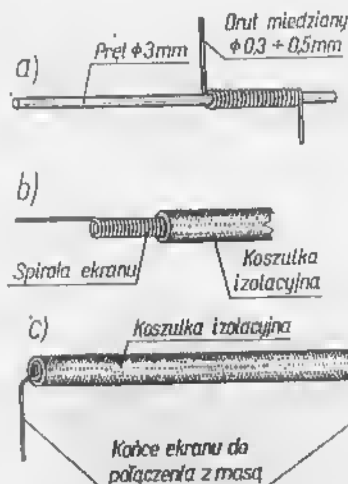
Rys. 27. Układ połączeń między poszczególnymi członami odbiornika

rzeniowym (rys. 25), a drugi z ujemnym biegunem baterii (rys. 27). Dodatni biegun baterii trzeba połączyć z gniazdkiem *P*, a drugi koniec wtórnego uzwojenia transformatora żarzeniowego z gniazdkiem *G* wzmacniacza m. cz. Gniazdko *S* wzmacniacza m. cz. łączymy z gniazdkiem *W* wzmacniacza w. cz., gniazdko *Z* z gniazdkiem *Z*, gniazdko *R* z gniazdkiem *R*, a drugie gniazdko *P* na panelu wzmacniacza m. cz. z gniazdkiem *P* na panelu wzmac-

niacza w. cz. Jeszcze raz sprawdzamy prawidłowość połączeń według rys. 27, po czym do gniazdka *A* w odbiorniku podłączamy antenę, a do gniazdka *Z* uziemienie. Następnie pokręcamy gałką kondensatora i dostrajamy odbiornik do stacji lokalnej; powinniśmy teraz usłyszeć audycję radiową. Pokręcanie gałką potencjometru P_1 (rys. 26) powinno zmieniać natężenie sygnału akustycznego od zera w skrajnym lewym położeniu ślizgacza do maksimum w skrajnym prawym. Potencjometr P_2 służy do regulacji barwy dźwięku; obracanie jego gałki powoduje zmianę pasma przenoszonych dźwięków. W lewym skrajnym położeniu ślizgacza potencjometru P_2 odbiornik lepiej odtwarza wyższe tony audycji radiowej. Słychać wówczas także nieprzyjemne dla ucha zakłócenia atmosferyczne (trzaski), syczenie i gwizdy interferencyjne o bardzo wysokim tonie. W prawym skrajnym położeniu ślizgacza potencjometru P_2 odbiornik przenosi tylko niższe tony audycji radiowej, co również nie jest przyjemne dla ucha.

Szczególnie dokuczliwy i nieprzyjemny jest tak zwany przydźwięk sieci elektroenergetycznej o częstotliwości 50 Hz oraz jej tak zwana druga harmoniczna, czyli częstotliwość 100 Hz. Napięcia o tych właśnie częstotliwościach dostają się do odbiornika poprzez źródło zasilania oraz indukują się w przewodach zarówno anteny jak i uziemienia oraz innych elementach odbiornika i wzmacniaczy. Dzieje się to wszędzie tam, gdzie w pobliżu odbiornika istnieje sieć napięcia zmiennego. Szczególnie wyczulone na wpływy szkodliwych pól zakłócających są obwody siatkowe wyjściowych stopni wzmacniających m. cz. Dlatego obwody te należy wykonywać z jak najkrótszych przewodów, albo też — gdy to niemożliwe — osłonić od pól zakłócających specjalnymi koszulkami ekranującymi. Koszulką ekranującą nazywamy rurkę (spiralę) splecioną lub skręconą z drutu miedzianego, którą nakłada się na przewód i uziemia. W ten właśnie sposób ekranujemy przewód łączący gniazdko wejściowe *S* z kondensatorem 50 000 pF oraz ślizgacz potencjometru P_1 z końcówką siatki sterującej lampy 6F32. Do wykonania koszulki ekranującej (rys. 28) użyjemy pręta o średnicy 3 mm, na którym nawijamy gęstą spiralę (zwój przy zwoju) z drutu miedzianego ocynowanego lub srebrzonego o średnicy $0{,}5 \div 0{,}7$ mm (rys. 28a). Po nawinięciu odpowiednio długiej spirali zsuwamy ją z pręta i mamy gotową

koszulkę ekranującą. Ekran *I* powinien mieć długość 10,5 cm, a ekran *II* — 7 cm. Z obu końców koszulki odwijamy po trzy zwoje spirali i prostujemy je (rys. 28b); będą to końcówki służące do uziemienia ekranu. Na ekran nasuwamy odpowiednio długą rurkę izolacyjną (rys. 28c). Tak wykonany ekran nasuwa-



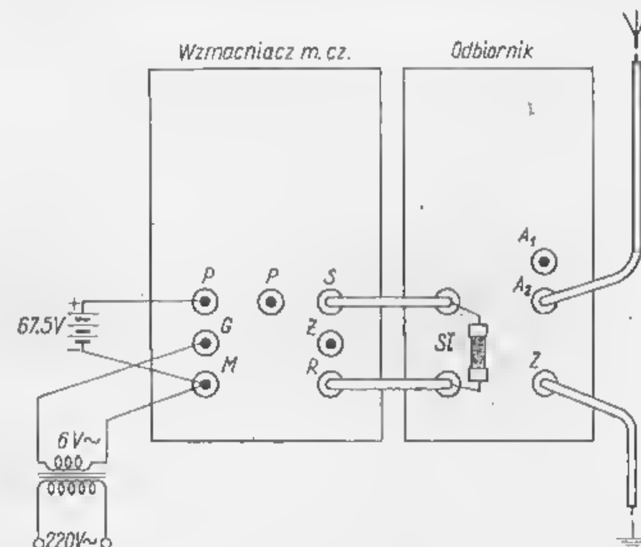
Rys. 28. Wykonanie ekranu na przewód połączeniowy: a) nawijanie ekranu; b) naciągnięcie koszulki; c) gotowy ekran

my na odpowiedni przewód (rys. 18). Następnie końce ekranu, na które naciągamy koszulki izolacyjne, przylutowujemy do najbliższych uziemionych końcówek lutowniczych.

Zasadniczym problemem w technice odbiorczej jest jak najwierniejsze odtwarzanie odbieranej audycji. Audycja radiowa będzie odtworzona wiernie wówczas, gdy będzie zachowana właściwa proporcja między tonami wysokimi i niskimi. Jest to ważne szczególnie przy odtwarzaniu audycji muzycznych. Przy słuchaniu audycji słownych wymaga się lepszego odtwarzania raczej wyższych tonów; wtedy bowiem audycja jest bardziej zrozumiała. Dlatego też przy odbiorze audycji słownych ustawia się regulator barwy dźwięku raczej na „jasną” jego barwę, natomiast przy odbiorze audycji muzycznych lepiej ustawić potencjometr P_2 w pozycji bliższej tonów niższych.

5. Różne zastosowania wzmacniacza małej częstotliwości

Najprostszym zastosowaniem wzmacniacza małej częstotliwości jest użycie go do wzmacniania sygnałów akustycznych, odtwarzanych następnie przez słuchawki przyłączone do odbiornika detektorowego. W tym celu wejście tego wzmacniacza (gniazdka *S* i *R*) łączymy z gniazdkami odbiornika detektorowego



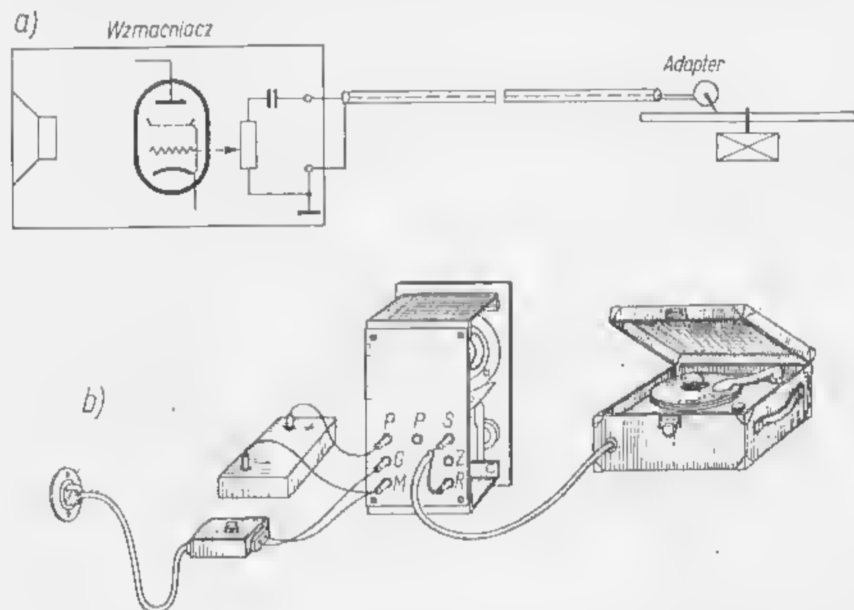
Rys. 29. Połączenie odbiornika detektorowego ze wzmacniaczem małej częstotliwości

oznaczonymi literami *Sł* (rys. 29). Równolegle do gniazdek *Sł* podłączamy opornik o oporności 10 kΩ. Opornik ten w zastępstwie oporności słuchawek wchodzi w skład mostka detekcyjnego w odbiorniku detektorowym.

Warunki pracy odbiornika detektorowego w przypadku połączenia go ze wzmacniaczem małej częstotliwości są znacznie lepsze, ponieważ do mostka detekcyjnego zamiast oporności słuchawek (1 ÷ 2 kΩ) wprowadzamy opornik 10 kΩ. Dzięki temu —

praktycznie biorąc — usuwa się całkowicie tłumienie drgań wejściowego obwodu rezonansowego w odbiorniku detektorowym.

Wzmacniacz małej częstotliwości można również z powodzeniem zastosować jako wzmacniacz do adaptera. W tym przypadku odłączamy go od pozostałych członów odbiornika, pozostawiając tylko zasilanie obwodu żarzenia i anodowego. Do gniazdek *S* i *R* podłączamy wtyczki wyjściowego sznura adapterowego.



Rys. 30. Połączenie adaptera ze wzmacniaczem m. cz.: a) uproszczony schemat ideowy; b) układ praktyczny

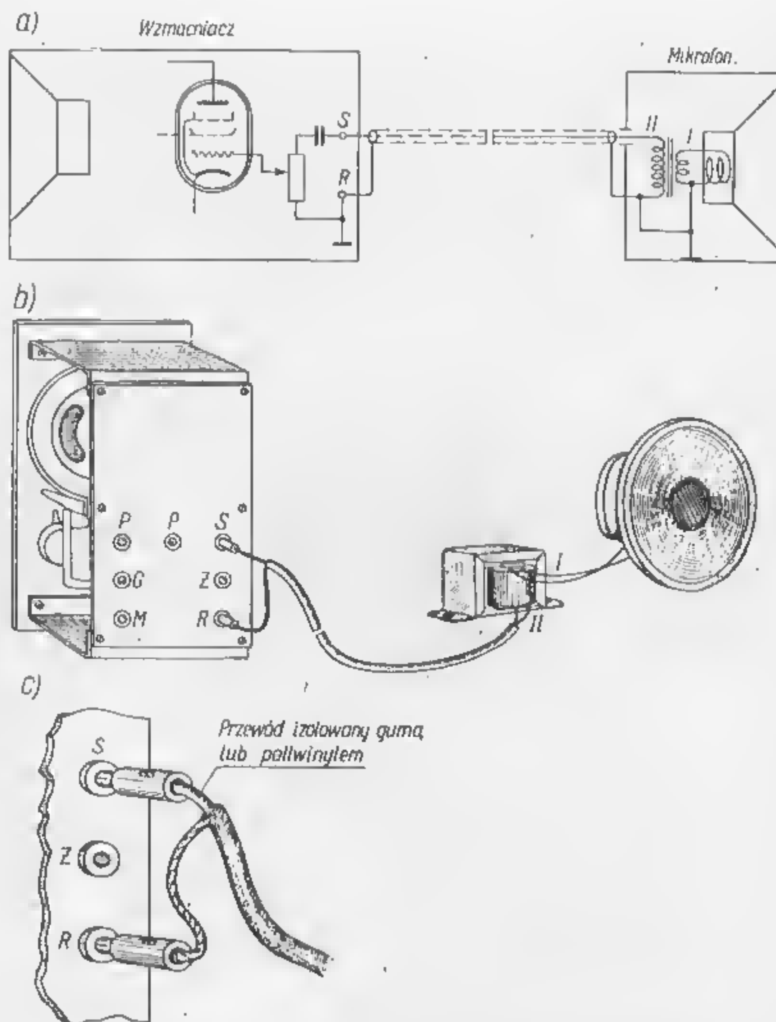
Sznury te wykonane są zazwyczaj w ten sposób, że jeden ich przewód ma izolację polichlorowinylową (igelitową) w ekranie z oplotu drucianego, a poza tym jedna z wtyczek osadzona jest na przewodzie izolowanym, druga zaś podłączona do ekranu. Należy przestrzegać, aby ekran podłączony był do gniazdka *R*. Przy odwrotnym podłączeniu ekranu (tj. do gniazdka *S*) cała masa adaptera będzie przyłączona do siatki sterującej lampy 6F32, co spowoduje wystąpienie silnego warkotu. Schemat ideowy i praktyczny układ połączeń przedstawione są na rys. 30.

Innym przykładem zastosowania wzmacniacza może być użycie go jako wzmacniacza mikrofonowego. Jako mikrofon może być użyty normalny głośnik lub mikrofon węglowy stosowany w aparatach telefonicznych. Zależnie od typu użytego mikrofonu trzeba zastosować odpowiedni układ do połączenia go ze wzmacniaczem.

Omówimy najpierw działanie i użycie zwykłego głośnika dynamicznego jako mikrofonu. Jak wiemy — przepływ prądu przez cewkę drgającą głośnika znajdującą się w silnym polu magnetycznym powoduje drgania cewki w takt zmian tego prądu. Drgania cewki udzielają się sprzężonej z nią sztywno membranie. W tym samym głośniku może zachodzić przemiana odwrotna. Spowodowane falami głosowymi drgania membrany głośnika udzielają się jego cewce, która również drga w takt fal głosowych. Drgania cewki w stałym polu magnetycznym powodują powstawanie napięć zmiennych na zaciskach cewki.

Do dopasowania tego rodzaju mikrofonu do wejścia wzmacniacza posłuży nam transformator głośnikowy; do jego wtórnego uzwojenia podłączamy głośnik, pierwotne zaś uzwojenie podłączamy do gniazdek *S* i *R* (rys. 31). Sygnał elektryczny powstający w cewce głośnika przechodzi z uzwojenia transformatora połączonego z tą cewką do uzwojenia o większej ilości zwojów, aby dostać się do obwodu wejściowego wzmacniacza. Z tego też powodu pierwsze uzwojenie nazywamy pierwotnym, a drugie wtórnym. Tak użyty transformator ma przekładnię podwyższającą. Rysunek 31a przedstawia uproszczony schemat podłączenia głośnika jako mikrofonu do wzmacniacza m. cz., zaś rysunek 31b — praktyczny układ połączeń poszczególnych elementów między sobą. Sposób zakończenia połączeniowego sznura ekranowanego oraz jego połączenia ze wzmacniaczem m. cz. uwidoczniono na rys. 31c. Należy zwrócić uwagę na to, że wtyczka wetknięta do gniazdka *R* osadzona jest na przewodzie utworzonym ze skręconych drucików (pochodzących z rozplecionego końca koszulki ekranującej), a przewód izolowany podłączony jest do gniazdka *S*.

Mikrofon typu telefonicznego (rys. 32a) można połączyć ze wzmacniaczem m. cz. według rys. 32c, d. Konstrukcja mikrofonu węglowego typu telefonicznego pokazana jest na rys. 32a, b.



Rys. 31. Podłączenie głośnika jako mikrofonu do wzmacniacza m. cz.: a) uproszczony schemat ideowy; b) układ praktyczny podłączenia; c) zakończenie sznura połączeniowego

Rys. 32. Podłączenie mikrofonu węglowego do wzmacniacza m. cz.: a), b) konstrukcja mikrofonu węglowego; c) uproszczony schemat ideowy podłączenia; d) układ praktyczny podłączenia

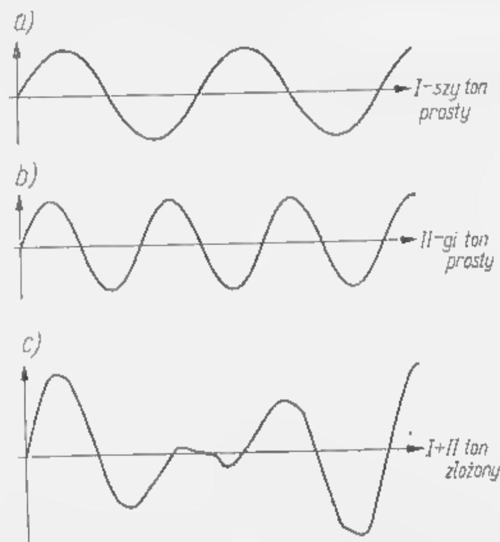
Składa się ona z korpusu (miseczki) bakelitowego z klockiem węglowym w środku połączonym ze śrubką kontaktową. Klocek węglowy otoczony jest wokół pierścieniem filcowym, który z jednej strony opiera się na klocku węglowym, z drugiej zaś styka się szczelnie z membraną mikrofonu. Tak utworzoną (zamkniętą) przestrzeń wypełnia proszek węglowy. W innych typach mikrofonów węglowych zamiast proszku stosowane są kuleczki węglowe. Zasada działania obu typów mikrofonu jest taka sama. Mikrofon węglowy działa na zasadzie zmiany oporności proszku węglowego pod wpływem oddziaływanego nań zmiennego nacisku membrany. Prąd stały płynący przez mikrofon (między membraną a śrubką kontaktową) zmienia swą wartość w takt zmian oporności zgodnych ze zmianami docisku między ziarnami proszku węglowego, co znajduje wyraz w zmiennej amplitudzie drgań membrany w takt wzbudzanych fal głosowych. Rysunek 32c przedstawia uproszczony schemat połączenia wzmacniacza m. cz. z mikrofonem węglowym. Wyłącznik W włącza się tylko na czas użytkowania mikrofonu. Praktyczny układ połączenia ze sobą wszystkich elementów składowych przedstawia rys. 31d. Oczywiście wszystkie elementy składowe należy umocować w specjalnym pudełku zaprojektowanym specjalnie jako obudowa mikrofonu. Kształt obudowy i sposób rozmieszczenia w niej elementów pozostawia się do indywidualnego uznania konstruktorów. Przy projektowaniu obudowy warto wziąć pod uwagę również jej wygląd zewnętrzny. Przewody łączące transformator mikrofonowy ze wzmacniaczem m. cz. (rys. 31 i 32) mogą być wydłużone do dowolnej wielkości; należy je jednak ekranować bardzo dokładnie i połączyć z masą wzmacniacza i obudową mikrofonu. Dobra instalacja urządzenia mikrofonowego zapewnia całkowitą ciszę w głośniku pomimo dobrego funkcjonowania samego mikrofonu. Najlepiej umieścić mikrofon w jednym pomieszczeniu, a wzmacniacz z głośnikiem w drugim. Jeśli to niemożliwe, należy przynajmniej odsunąć jak najdalej mikrofon od wzmacniacza i tak go ustawić, aby fale głosowe rozchodzące się od głośnika po linii prostej we wszystkich kierunkach nie trafiały bezpośrednio do mikrofonu i nie powodowały w ten sposób wzbudzania się urządzenia na częstotliwościach akustycznych (czyli powstawania ostrych gwizdów zagłuszających całkowicie audycję). Mechanizm

powstawania tych gwizdów polega na tym, że dźwięki z głośnika docierające do mikrofonu zostają przez niego ponownie przekazane na wzmacniacz. Tam zostają wzmocnione i odtworzone przez głośnik jako dźwięki o wiele silniejsze. Te z kolei są ponownie odbierane przez mikrofon i ponownie wzmacniane. Cykl ten powtarza się wielokrotnie, powodując narastające wzmocnienie pewnych tonów, które występują jako gwizdy. Moment narastania gwizdu przy wzbudzaniu się łatwo można zaobserwować w chwili zbliżenia mikrofonu do głośnika.

6. Poznajemy pracę wzmacniacza małej częstotliwości

Spróbujmy teraz zapoznać się z pracą zbudowanego wzmacniacza małej częstotliwości. Pozwoli nam to łatwiej zrozumieć zasadę działania całego urządzenia oraz rolę, jaką w nim spełniają poszczególne elementy składowe. Najlepszą metodą zaprawy radioamatorskiej jest praktyczne eksperymentowanie. Należy jednak zachować przy nim rozsądkiem dyktowaną ostrożność. Nie trzeba zapominać, że wykonany wzmacniacz m. cz. jest zasilany ze źródeł o napięciu 67,5 V i 120 V (mogą być stosowane tu i wyższe napięcia). Zasadniczo całkowicie bezpieczne dla organizmu ludzkiego jest napięcie nie przekraczające 24 V. Napięcie baterii anodowej 67,5 V może już spowodować przy dotknięciu obu jej biegunów wilgotnymi rękami wstrząs nerwowy. Nieopatrzne dotknięcie nieizolowanych elementów będących w stosunku do masy pod napięciem anodowym może spowodować porażenia, a w szczególnym wypadku nawet śmierć. Dlatego też z reguły nie wolno dotykać gołą ręką lub trzymanym w niej przedmiotem metalowym elementów pozostających pod napięciem. Przed każdą manipulacją związaną z wykonywaniem połączeń, przełączeń itp. należy bezwzględnie odłączać napięcie anodowe (i to od obydwóch biegunów baterii), podobnie jak i napięcie zasilające z sieci elektroenergetycznej. Jako regułę należy przyjąć unikanie wszelkich prowizorycznych instalacji zasilających.

A teraz wracamy do tematu. Sygnał wchodzący na wejście wzmacniacza m. cz. składa się z całego pasma częstotliwości akustycznych. Wykresy zmian tego rodzaju prądów w przypadku tonów prostych o różnej wysokości brzmienia oraz dźwięków złożonych z paru tonów prostych i różnych częstotliwości drgań przedstawione są na rys. 33. Im większa ilość tonów zmieszana



Rys. 33. Nakładanie się tonów o różnych częstotliwościach: a) wykresy prądów tonów prostych; b) wykres prądu wypadkowego

jest jednocześnie ze sobą, tym bardziej skomplikowany jest przebieg zmian prądów wypadkowych. Tego rodzaju przebiegi można oglądać na specjalnych przyrządach zwanych oscylografami lub oscyloskopami.

Jednym z bardzo istotnych zagadnień radiotechniki jest problem mieszania ze sobą prądów i napięć o różnych częstotliwościach. Drugim zagadnieniem, bardziej nawet skomplikowanym jest rozdzielanie takiego pasma częstotliwości na poszczególne częstotliwości lub na drobniejsze ich wiązki. Zagadnienie nakładania na siebie różnych częstotliwości jest związane raczej z radiową techniką nadawczą. Sposoby rozdzielania różnych częstotliwości rozpatruje się i stosuje przede wszystkim w technice odbiorczej.

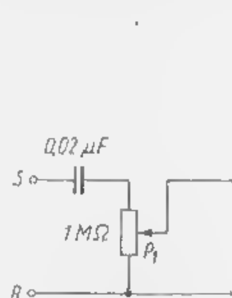
W pierwszej broszurze pt. „Odbiornik detektorowy z diodą germanową" rozważaliśmy metody rozdzielania i wybierania poszczególnych prądów zmiennych w zakresie częstotliwości bardzo wielkich, tak zwanych radiowych. Jak zapewne pamiętamy, służy do tego celu obwód rezonansowy i oparty na nim wzmacniacz rezonansowy (opisany w drugiej broszurze pt. „Wzmacniacz wielkiej częstotliwości").

Przy omawianiu zagadnienia detekcji rozpatrywaliśmy również sposoby wydzielania małych częstotliwości, tak zwanych akustycznych, modulowanych prądów częstotliwości wielkich (radiowych). Obecnie omówimy sposoby rozdzielania pasma w zakresie małych częstotliwości.

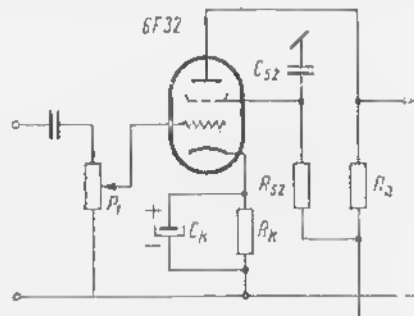
We wzmacniaczu małej częstotliwości zagadnienie to sprowadza się raczej nie do wydzielania pojedynczych częstotliwości, lecz do obcinania, albo mniejszego czy większego tłumienia górnej lub dolnej części pasma częstotliwości akustycznych, co ma na celu regulację barwy dźwięku wzmacnianej audycji. Zagadnienie to trzeba mieć na uwadze przy projektowaniu wszystkich elementów wzmacniacza małej częstotliwości, bowiem zastosowanie niewłaściwego elementu może spowodować niepożądane obcięcie części wzmacnianego pasma akustycznego.

Sygnał akustyczny, jako mieszanina różnych prądów małej częstotliwości wchodzi na obwód wejściowy wzmacniacza (rys. 34) i powoduje głównie spadek napięcia na potencjometrze P_1. Kondensator o pojemności 20 000 pF włączony w szereg z tym potencjometrem stanowi stosunkowo małą oporność dla prądów zmiennych w porównaniu z potencjometrem P_1 (1 MΩ). Gdybyśmy jednak zamiast kondensatora o pojemności 20 000 pF włączyli kondensator o pojemności 500 pF, to nawet przy skrajnym górnym położeniu ślizgacza potencjometru P_1 sygnał wchodzący na siatkę lampy 6F32 byłby znacznie słabszy niż poprzednio. Zauważymy, że najmniej osłabione są częstotliwości największe. Wówczas audycja słyszana z głośnika będzie odtwarzana w sposób syczący i silnie uwydatniający szumy i trzaski pochodzące z zakłóceń atmosferycznych i przemysłowych. Jest to dowód, że kondensator o pojemności 500 pF wykazuje znacznie większą oporność dolnym częstotliwościom pasma akustycznego niż górnym. Inaczej mówiąc — przez kondensator ten łatwiej przedo-

stają się większe częstotliwości. Te cechy kondensatorów pozwalają wnioskować, że jeżeli kondensator o pojemności np. 5 000 pF włączymy między gniazdka wejściowe S i R, to skutek będzie odwrotny, czyli że największe częstotliwości pasma akustycznego będą zwierane, a mniejsze częstotliwości raczej wzmacniane. Im większe pojemności zastosujemy do zwarcia gniazdek S i R, tym większa część wyższych tonów pasma będzie zwierana i nie przejdzie na wzmacniacz.



Rys. 34. Obwód wejściowy wzmacniacza



Rys. 35. Fragment układu stopnia wzmocnienia napięciowego

Jak już wiemy — opornik R_k (rys. 35) jest elementem, który powoduje powstawanie ujemnego potencjału siatkowego. Kondensator C_k ma za zadanie blokować opornik R_k w celu uniknięcia katodowego sprzężenia zwrotnego (ujemnego). Sprzężenie zwrotne polega na tym, że część napięcia zmiennego z obwodu anodowego lampy przechodzi ponownie na wejście, czyli na jej siatkę sterującą. Rozróżniamy dwa rodzaje sprzężeń zwrotnych: dodatnie — w przypadku, gdy na siatkę sterującą podaje się z obwodu anodowego sygnał zgodny w fazie z sygnałem wzmacnianym, oraz ujemne — gdy sygnał podawany jest na siatkę sterującą w odwrotnej fazie w stosunku do wzmacnianego sygnału. W przypadku sprzężenia dodatniego wzmocnienie stopnia wzrasta. Zależnie od wielkości tego sprzężenia układ może się nawet wzbudzić i generować własne drgania elektryczne. W przypadku sprzężenia ujemnego wzmocnienie stopnia maleje. Ujemne sprzężenie zwrotne powoduje poważne zmniejszenie zniekształceń wzmacnianego sygnału. Dlatego też gdy odlutujemy kondensator

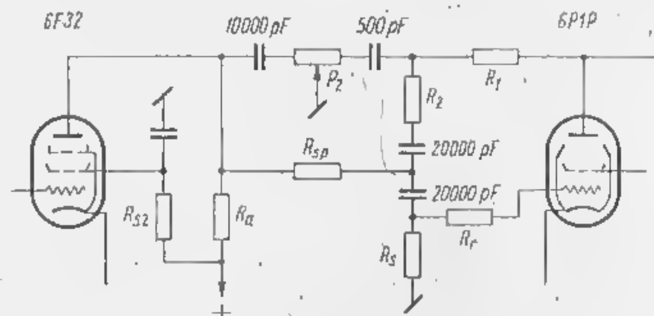
C_k, zauważymy wyraźne zmniejszenie się wzmocnienia. Jeżeli zablokujemy opornik katodowy R_k kondensatorem o małej pojemności, to jego rola jako kondensatora blokującego ogranicza się tylko do zakresu większych częstotliwości pasma akustycznego. Częstotliwości mniejsze osłabione są działaniem sprzężenia zwrotnego.

Z tej też przyczyny do blokowania oporników katodowych we wzmacniaczu małej częstotliwości należy stosować kondensatory o możliwie dużej pojemności. Najczęściej stosuje się do tego celu kondensatory elektrolityczne (niskowoltowe) o pojemności 20 ÷ 50 μF/10 do 60 V. We wzmacniaczach o wysokiej jakości odtwarzania pasma częstotliwości w granicach 20 Hz ÷ 15 000 Hz (na przykład we wzmacniaczach stosowanych w aparaturze kinowej) kondensatory katodowe mają pojemność 100 μF, a nawet 500 μF. W naszym przypadku nie ma potrzeby stosowania tak dużych pojemności, ponieważ użyty głośnik zdolny jest odtwarzać tony o częstotliwości w zakresie od 200 Hz do 10 000 Hz.

Opornik ograniczający prąd siatki osłonnej powoduje ustalenie się na siatce odpowiednio niższego potencjału w stosunku do potencjału anody. Siatka osłonna w pentodzie ma duży wpływ na wartość prądu anodowego, dlatego bardzo ważne jest utrzymanie jej stałego potencjału. Wobec tego siatkę osłonną blokuje się kondensatorem o dużej pojemności, aby uniknąć wpływu przypadkowych zakłóceń poprzez siatkę S_2 na prąd anodowy lampy, a tym samym zniekształceń wzmacnianej audycji. Niezablokowana kondensatorem siatka osłonna lampy może spowodować nawet wzbudzenie się układu. Z opornika R_a pierwszego stopnia wzmacniacza poprzez opornik R_{sp}, kondensator C_{sp} i opornik R_r sygnał przedostaje się na siatkę sterującą lampy 6P1P. Kondensator sprzęgający oba stopnie C_{sp} również decyduje o dolnej granicy przenoszonego pasma częstotliwości akustycznej wzmacniacza. Zagadnienie jest tu identyczne jak w przypadku kondensatora o pojemności 20 000 pF na wejściu wzmacniacza. Kondensatory te służą do zabezpieczenia obwodów siatkowych poszczególnych stopni wzmacniacza przed dostaniem się na nie wysokiego napięcia stałego z poprzedzających je obwodów anodowych. Mogłoby ono spowodować zmianę punktu pracy lamp wzmacniacza.

Opornik R_s w obwodzie siatkowym drugiej lampy wzmacniacza, tak samo jak potencjometr P_1 w obwodzie siatkowym pierwszej lampy służy do ustalenia na niej potencjału zerowego masy (chassis) na siatce sterującej. Ponieważ katoda ma potencjał dodatni względem masy (chassis), przeto potencjał siatki jest ujemny względem katody.

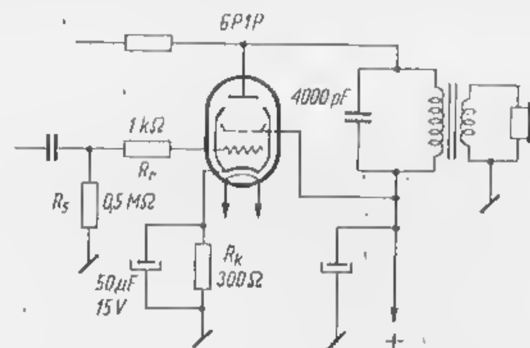
Oprócz zwykłego sprzężenia między stopniami wzmacniacza widzimy na rys. 36 gałąź sprzężenia zwrotnego, złożoną z połączonych szeregowo oporników R_1 i R_2 oraz kondensatora 20 000 pF.



Rys. 36. Układ sprzężenia zwrotnego i regulacji barwy dźwięku

Gałąź ta włączona jest między anodę i siatkę sterującą lampy 6P1P. Wartość oporności R_1 i R_2 decyduje o stopniu sprzężenia tych dwóch obwodów. Zmniejszenie oporności tych oporników powoduje wzrost ujemnego sprzężenia zwrotnego. Natomiast powiększenie oporności R_1 i R_2 sprzężenie to zmniejsza. Istnienie ujemnego sprzężenia zwrotnego (napięciowego) powoduje częściowo zmniejszenie wzmocnienia, lecz jednocześnie powiększa się szerokość pasma wzmacnianego i zmniejsza się poziom szumów własnych wzmacniacza. Jeżeli gałąź sprzężenia zwrotnego odłączymy, to zauważymy znacznie silniejsze odtwarzanie wzmacnianej audycji i przeciwnie — zmniejszenie oporności oporników tej gałęzi powoduje ściszenie audycji. Kondensator 20 000 pF włączony w szereg z opornikami do gałęzi sprzężenia zwrotnego ma za zadanie uruchomić układ przed przepływem składowej stałej prądu anodowego.

Potencjometr P_2 włączony jest między gałąź sprzężenia zwrotnego i anodę lampy stopnia pierwszego oraz oddzielony od nich pojemnościami. Wartość tych pojemności odgrywa zasadniczą rolę. Ponieważ ślizgacz potencjometru jest połączony z masą, to przesuwanie go w lewą stronę powoduje zwieranie anody lampy 6F32 poprzez kondensator 10 000 pF i stopniowe zmniejszanie oporności, a więc i tłumienie szerokiej części pasma wysokich i średnich tonów. W krańcowym położeniu gałki potencjometru słyszymy tylko niskie tony. Przy przekręcaniu gałki potencjometru w prawo — zwierana jest do masy kondensatorem 500 pF gałąź sprzężenia zwrotnego. Powoduje to, że przy skrajnym prawym położeniu gałki potencjometru usuwany jest wpływ sprzę-



Rys. 37. Stopień wzmocnienia mocy

żenia zwrotnego dla zakresu większych częstotliwości wzmacnianych. Wskutek tego jeszcze bardziej wzrastą wzmocnienie częstotliwości górnej części pasma akustycznego.

Stopień wzmocnienia mocy (rys. 37) z lampą 6P1P zawiera w katodzie znany już nam opornik katodowy, służący do uzyskania automatycznego potencjału ujemnego siatki. Oporność anodową lampy głośnikowej stanowi transformator głośnikowy i włączona na jego wtórne uzwojenie cewka drgająca głośnika. Pierwotne uzwojenie transformatora głośnikowego zablokowane jest kondensatorem o pojemności 4 000 pF, a to w celu wyrównania amplitudy pasma wzmacnianego, gdyż oporność obciążenia przeniesiona na stronę uzwojenia pierwotnego transformatora głośnikowego ma charakter indukcyjny i dlatego dla większych częstotliwości ma większą wartość niż dla częstotliwości mniejszych. Dlatego też prądy o częstotliwościach większych są silniej wzmac-

niane. Kondensator C_B, zwierający bieguny źródła napięcia anodowego służy do przepuszczania składowej zmiennej, aby się ona nie przedostała do obwodu zasilania. Zabezpiecza on również przed sprzęganiem się poszczególnych stopni wzmacniacza, zasilanych z jednego źródła napięcia anodowego. Łatwo się o tym przekonać dotykając dwoma palcami jednej ręki równocześnie dwóch gniazdek P i S na tylnej płytce wzmacniacza. Usłyszymy wtedy silny szum, a nawet warkot. Jeśli zaś odłączymy kondensator C_B, to dotknięcie gniazdek P i S spowoduje powstanie silnego gwizdu. Oznacza on, że wzmacniacz się wzbudził i stał się generatorem drgań o częstotliwości akustycznej. Silny szum w głośniku świadczy o tym, że wzmacniacz generuje na częstotliwościach ponadakustycznych. Możliwość wzbudzenia się wzrasta w miarę powiększania się wzmocnienia wzmacniacza. We wzmacniaczach o większym wzmocnieniu, w celu uniknięcia szkodliwych sprzężeń, w gałęziach zasilania obwodów anodowych poszczególnych lamp stosuje się specjalne filtry oporowo-pojemnościowe.

Po dokładnym zastanowieniu się nad układem i konstrukcją opisanego wzmacniacza wydaje się nieuzasadnione zastosowanie w nim rozbudowanego członu regulacji barwy dźwięku, skoro użyliśmy tu głośnika o małej średnicy membrany, a więc wykluczającego całkowicie odtwarzanie dźwięków o częstotliwości mniejszej od 200 Hz. Ale niekonsekwencja ta jest tylko pozorna; chodzi bowiem o to, że w następnej broszurze z tego właśnie cyklu będą opisane konstrukcje dodatkowego głośnika o szerokim paśmie odtwarzania oraz sposób jego podłączenia do naszego układu.

7. Omówienie różnych typów wzmacniaczy małej częstotliwości

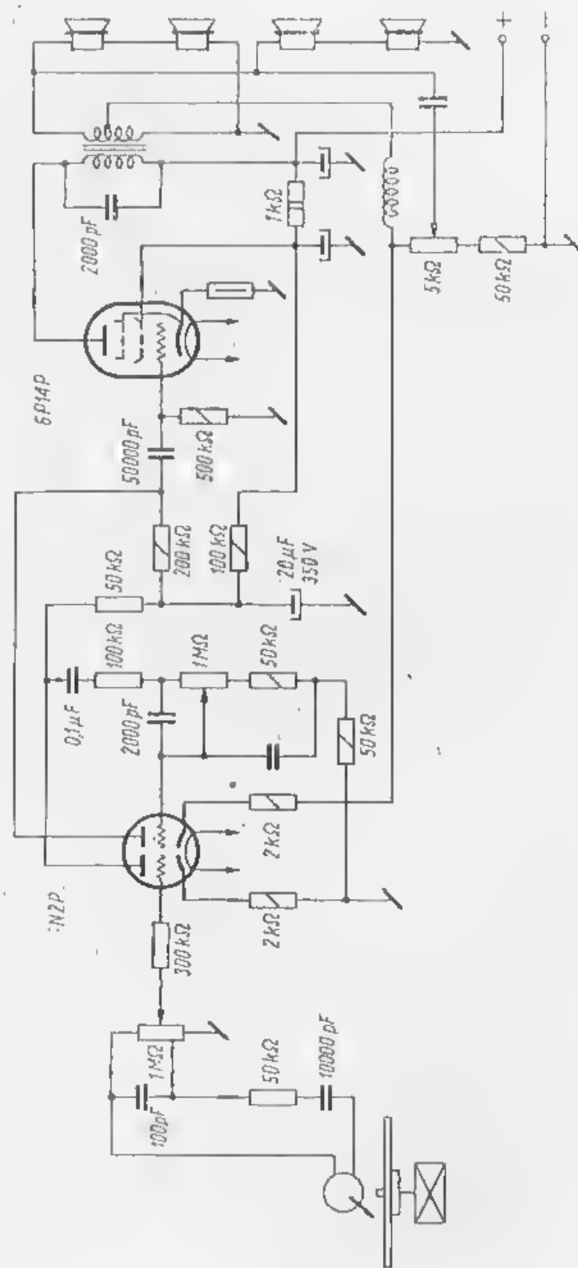
W radiowych urządzeniach odbiorczych spotykamy zasadniczo dwa główne typy układów wzmacniających. Do pierwszego z nich zalicza się różne odmiany wzmacniaczy napięciowych, których zadaniem jest powiększenie amplitudy zmian napięciowych wzmacnianych sygnałów akustycznych, do drugiego natomiast — wzmacniacze mocy.

Pierwszy typ wzmacniacza cechuje duży współczynnik wzmocnienia napięciowego; stosuje się go zawsze jako pierwszy człon wzmacniający, który przygotowuje sygnał o odpowiednio wielkiej amplitudzie, aby móc należycie wysterować końcowy człon wzmacniacza, czyli wzmacniacz mocy. Jak już poprzednio wspomniano — wzmacniacz mocy powinien być sterowany odpowiednio dużą amplitudą napięcia o częstotliwości akustycznej, aby można było uzyskać z niego odpowiednią moc akustyczną niezbędną do uruchomienia głośnika. Jako wzmacniacze napięciowe małej częstotliwości stosuje się niemal z reguły układy wzmacniaczy oporowych. Odznaczają się one tym, że wzmacniają prawie jednakowo całe pasmo częstotliwości akustycznych. Wzmacniacze mocy są to przeważnie wzmacniacze transformatorowe, czyli takie, w których oporność anodowa włączona jest poprzez transformator dopasowujący. W stopniu końcowym opornością anodową lampy wzmacniacza mocy jest cewka drgająca głośnika.

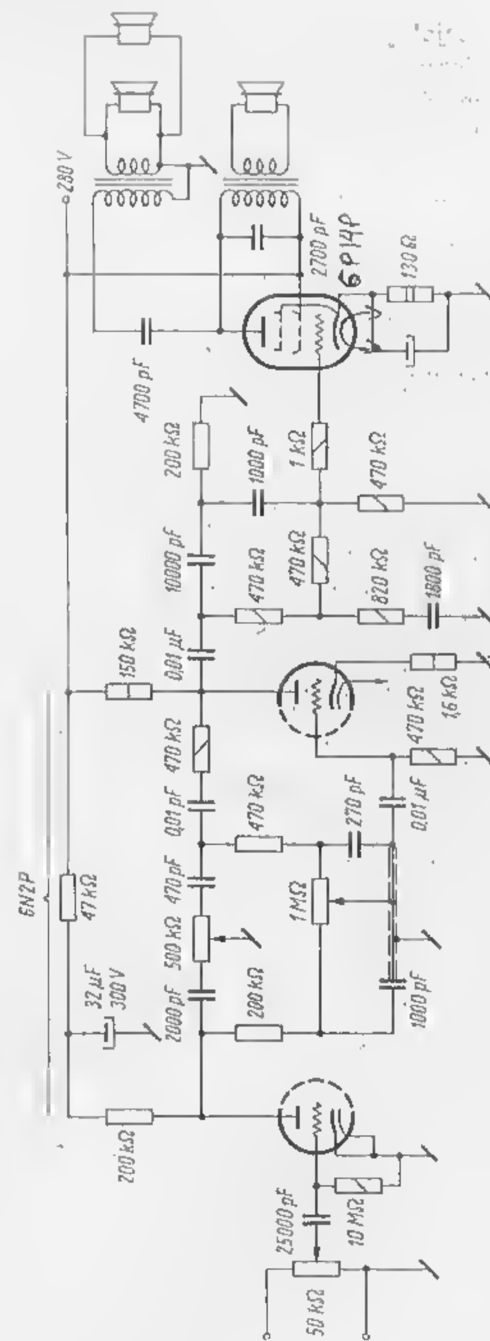
Typowy układ wzmacniacza małej częstotliwości przedstawiony jest schematycznie na rys. 1. Główną cechą elektryczną wzmacniacza małej częstotliwości jest moc prądu elektrycznego o częstotliwości akustycznej, jaka wydzielana jest w głośniku. Dlatego moc wzmacniacza małej częstotliwości określa się właśnie mocą, z jaką głośnik może wzbudzić fale dźwiękowe. Opisany tu wzmacniacz modelowy ma moc około pół wata (wat — jednostka mocy elektrycznej).

Bardzo dobre wyniki w pracy daje stosunkowo prosty wzmacniacz do gramofonu elektrycznego przedstawiony na rys. 38. Obejmuje on trzy stopnie wzmocnienia i zaopatrzony jest w 3 głośniki: nisko- i średniotonowy oraz dwa wysokotonowe.

Wzmacniacz o układzie pokazanym na rysunku 39 ma dwa stopnie wzmocnienia napięciowego i rozbudowany stopień końcowy; jest więc urządzeniem o wysokiej jakości odtwarzania, to znaczy wzmacniającym znacznie szersze pasmo częstotliwości oraz wprowadzającym bardzo mały procent zniekształceń. Umożliwia on poza tym regulację barwy dźwięku w bardzo szerokim zakre-



Rys. 38. Schemat ideowy wzmacniacza do gramofonu elektrycznego



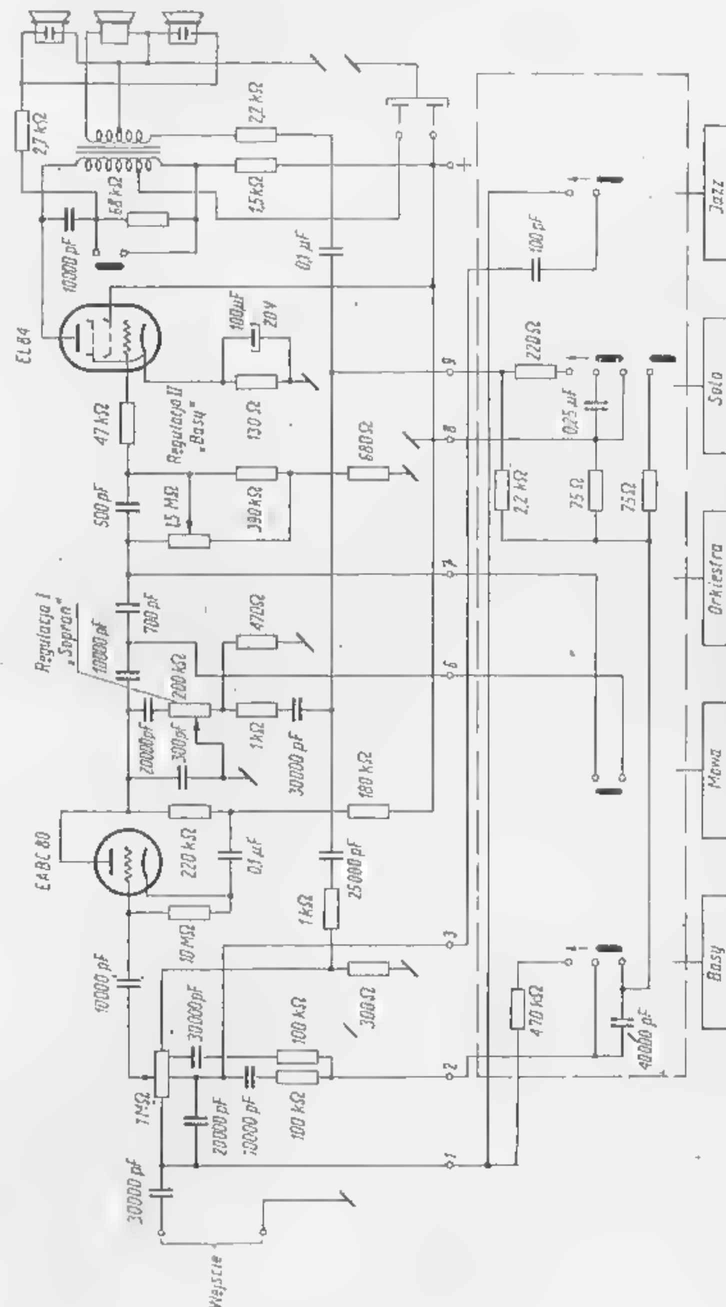
Rys. 39. Schemat ideowy wzmacniacza o wysokiej jakości odtwarzania

się i zawiera specjalny układ korekcji wzmocnienia. Na wyjściu wzmacniacza z lampą 6P14P włączone są dwa głośniki wysokotonowe oraz jeden średnio- i niskotonowy. Moc wzmacniacza wynosi 3,5 wata. Dzięki zastosowaniu kilku głośników odtwarzających różne zakresy częstotliwości akustycznej możliwe jest rozszerzenie pasma wzmacnianego przez ten układ, co poważnie wpływa na jakość odtwarzania audycji.

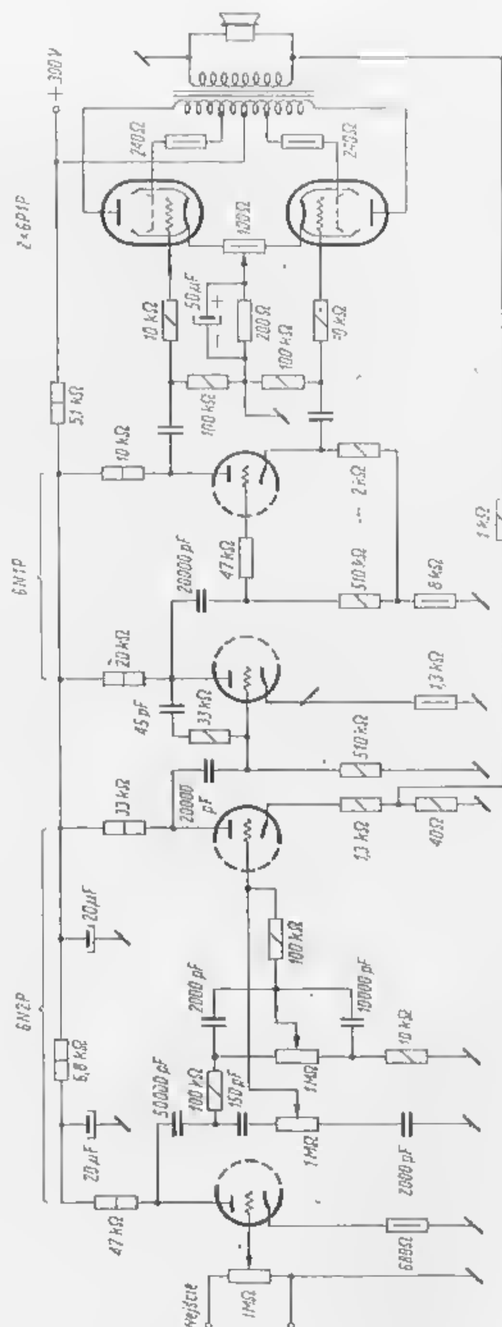
Innym typem wzmacniacza o wysokiej jakości jest układ przedstawiony na rys. 40. Zrealizowano w nim płynną i klawiszową regulację barwy dźwięku. Na wyjściu połączone są trzy różnotonowe głośniki. Pasmo wzmacniane w zakresie od 20 Hz aż do 18 000 Hz, moc wyjściowa wzmacniacza — 5 watów.

Większą moc i lepszą jakość odtwarzania (mniejszy procent zniekształceń) zapewnia wzmacniacz mocy w układzie przeciwsobnym — rys. 41. Składa się on z trzech stopni wzmocnienia napięciowego, tak zwanego odwracacza fazy, niezbędnego do sterowania stopnia wyjściowego w układzie przeciwsobnym i właściwego wzmacniacza mocy. Lampy w układzie przeciwsobnym pracują na przemian. Jedna wzmacnia dodatnie połówki przebiegów o częstotliwości akustycznej, a druga — ujemne. Wynik jest taki, że amplitudy sygnałów wzmacnianych przez jedną i drugą lampę dodają się na transformatorze wyjściowym dając dwa razy większe zmiany prądowe na jego wyjściu, a więc i dwa razy większą moc wyjściową. Moc wyjściowa tego wzmacniacza może sięgać do 8 watów przy zniekształceniach nieliniowych do 3%.

Wierność odtwarzania audycji we wzmacniaczu małej częstotliwości zależy od wielkości wprowadzanych zniekształceń. Rozróżniamy dwa główne rodzaje zniekształceń sygnału małej częstotliwości. Pierwszy z nich to zniekształcenia nieliniowe, powstające przeważnie w takich elementach wzmacniacza jak lampy i transformatory. Polegają one na wprowadzaniu do sygnału wzmacnianego przez wymienione elementy składowe dodatkowych częstotliwości akustycznych, których nie ma w sygnale wejściowym. Drugi natomiast to zniekształcenia liniowe, czyli częstotliwości; polegają one na tym, że wzmacniacz niejednakowo wzmacnia wszystkie częstotliwości, jakie składają się na sygnał.



Rys. 40. Schemat ideowy wzmacniacza z płynną i klawiszową regulacją barwy dźwięku.

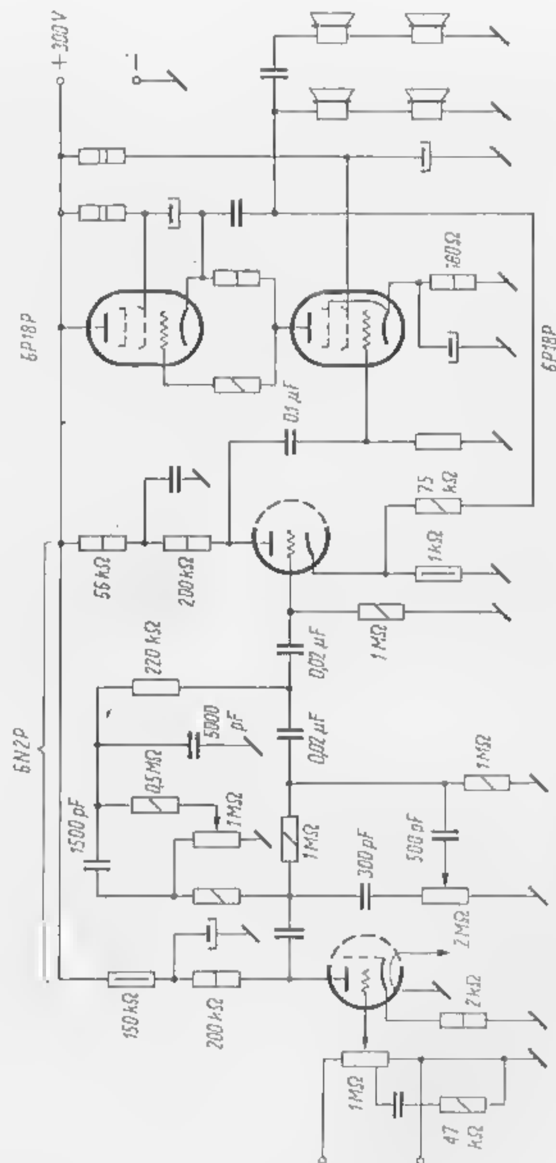


Rys. 41. Schemat ideowy wzmacniacza wysokiej klasy

Na przykład silniej wzmacnia częstotliwości środkowe pasma (od 1 000 do 5 000 Hz), słabiej zaś częstotliwości mniejsze (od 20 do 1 000 Hz) i większe (od 5 000 do 16 000 Hz).

Przyczyną powstawania zniekształceń liniowych są pojemności i indukcyjności układu. Zniekształcenia liniowe mogą być znacznie zmniejszone przez dobór odpowiednich elementów składowych wzmacniacza oraz zastosowanie specjalnych układów korekcyjnych. Jeśli chodzi o zniekształcenia nieliniowe, to powstają one głównie w stopniu końcowym wzmacniacza. Dzieje się to dlatego, że stopnie poprzednie wzmacniają sygnały o małej amplitudzie. Jednym z głównych „sprawców" zniekształceń nieliniowych we wzmacniaczu mocy jest transformator głośnikowy. Ogranicza on również pasmo wzmacnianych częstotliwości, zarówno od dołu jak i od góry. Charakterystyczną cechą transformatora głośnikowego jest ścisła zależność przenikalności magnetycznej jego rdzenia od wartości prądu płynącego przez uzwojenie pierwotne. Przyczyną powstawania tu zniekształceń nieliniowych mogą być zbyt duże wahania prądu zmiennego powodujące nasycanie się rdzenia transformatora. Ostatnio w celu wyeliminowania tych przyczyn konstruuje się wzmacniacze małej częstotliwości bez transformatorów głośnikowych. W tego rodzaju wzmacniaczach stosuje się specjalne układy końcowe i głośniki o oporności cewek drgających (dla prądu zmiennego) od 200 do 800 omów.

Jeden z najprostszych układów wzmacniaczy bez transformatorów wyjściowych pokazany jest na rys. 42. Zaprojektowano go na lampach produkcji radzieckiej (typu 6N2P i 6P18P), a ponadto przewidziano w nim bardzo szeroką regulację barwy dźwięku za pomocą dwóch potencjometrów: jednego dla tonów niskich i drugiego dla tonów wysokich. Lampa typu 6N2P złożona z dwóch triod umieszczonych w jednej bańce pracuje w 2-stopniowym wzmacniaczu napięciowym. Dwie lampy typu 6P18P włączone szeregowo (wtórnik piętrowy) umożliwiają uzyskanie oporności wyjściowej poniżej 100 omów. Moc wyjściowa tego wzmacniacza dochodzi do 2 watów, przy czym współczynnik zniekształceń nie przekracza 1,5%; pozwala to na stosowanie tego wzmacniacza nawet w odbiornikach pierwszej klasy. Na wyjściu wzmacniacza podłączone są dwie gałęzie głośników. Pierwsza



Rys. 42. Schemat ideowy wzmacniacza bez transformatorów wyjściowych

z nich zawiera głośniki niskotonowe $Gł_1$ i $Gł_2$ o oporności cewki drgającej 400 Ω, druga natomiast dwa głośniki wysokotonowe; oporność cewki drgającej każdego z nich wynosi 200 Ω. Łączna oporność wszystkich głośników w układzie, w jakim są połączone, wynosi około 900 Ω dla częstotliwości 1 kHz. Dzięki temu zespołowi głośników wzmacniacz — praktycznie biorąc — przenosi całe pasmo częstotliwości akustycznych od 20 do 18 000 Hz. Wzmacniacz ten można stosować zarówno w odbiornikach radiofonicznych jak i do pracy z gramofonem elektrycznym lub mikrofonem czy magnetofonem.

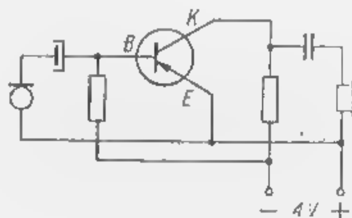
8. Tranzystorowy wzmacniacz małej częstotliwości

Tranzystorowe wzmacniacze małej częstotliwości znalazły już szerokie zastosowanie w naszym życiu codziennym. Cenną ich zaletą jest mały ciężar (wielokrotnie mniejszy niż takich samych wzmacniaczy z lampami elektronowymi) oraz bardzo mały pobór energii elektrycznej ze źródeł zasilania.

Najbardziej z nich rozpowszechnionymi u nas są aparaty słuchowe dla osób o przytępionym słuchu. Są to wzmacniacze małej częstotliwości z miniaturowym mikrofonem na wejściu. Wzmacniacz taki pracuje na jedną bardzo małą słuchawkę. W użytkowaniu są różnego rodzaju i kształtu aparaty słuchowe. Te, które produkuje przemysł krajowy, mają kształt małego pudełka, zawierającego wzmacniacz i mikrofon. Nosi się je w kieszeni wierzchniego ubrania, a słuchawkę połączoną ze wzmacniaczem cienkim przewodem wkłada się bezpośrednio do ucha. Firmy zagraniczne produkują tego rodzaju urządzenia (rys. 42) w postaci spinek do włosów, okularów o nieco pogrubionej obudowie itp. Schemat ideowy najprostszego aparatu słuchowego uwidoczniony jest na rys. 43.

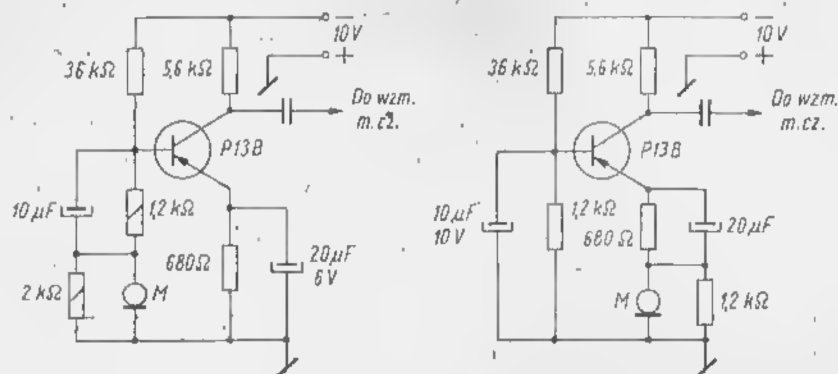
Innym, również bardzo popularnym, urządzeniem jest tranzystorowy radioodbiornik turystyczny. Coraz częściej posługują się w swej pracy reporterzy radiowi kieszonkowym magnetofo-

nem z wbudowanym tranzystorowym urządzeniem wzmacniającym. (Magnetofon jest to aparat rejestrujący i odtwarzający mowę lub muzykę na specjalnej taśmie magnetycznej lub drucie). Dźwięk rejestruje się przez różne, zależnie od jego natężenia



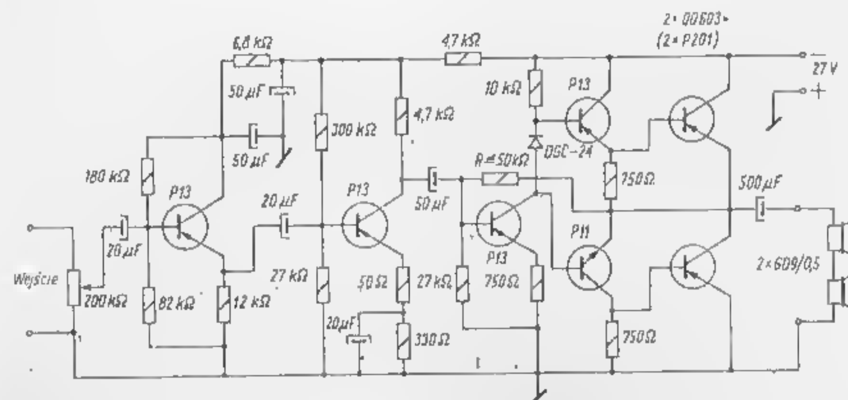
Rys. 43. Schemat ideowy najprostszego aparatu słuchowego

i barwy, magnesowanie nośników, to znaczy taśmy lub drutu. Mikrofony takich magnetofonów umocowuje się na ręku w oprawie podobnej do zegarka. Sposób podłączenia mikrofonu węglowego do wzmacniaczy tranzystorowych ilustruje rys. 44.

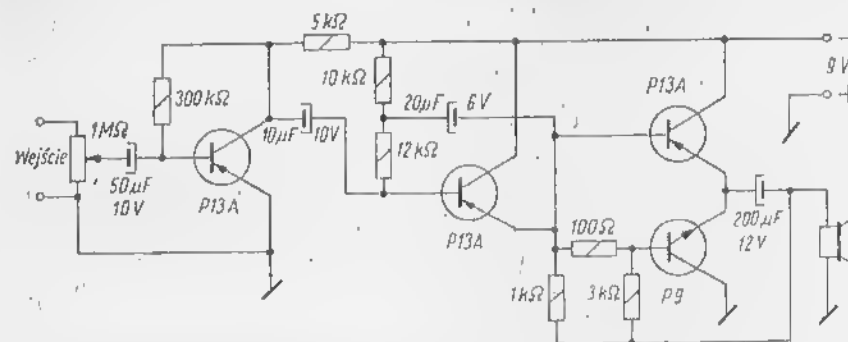


Rys. 44. Sposób podłączenia mikrofonu węglowego do wzmacniaczy tranzystorowych

Wzmacniacze tranzystorowe mogą być wykorzystane w połączeniu z przenośnymi gramofonami elektrycznymi. Umieszcza się je po prostu w obudowie samych gramofonów, nie powiększając ich wymiarów. Schemat wzmacniacza nadającego się do tego celu przedstawiony jest na rys. 45. Wzmacniacz taki można z po-



Rys. 45. Schemat ideowy wysokojakościowego wzmacniacza tranzystorowego



Rys. 46. Schemat ideowy prostego wzmacniacza tranzystorowego

wodzeniem wykonać samemu. Poważniejsze trudności można napotkać tylko w nabyciu odpowiednich typów tranzystorowych oraz odpowiedniego głośnika. Na wyjściu można zastosować dwa małe w szereg połączone głośniki o oporności cewki 4 omy, uzyskując sygnał o mocy około 4 watów. Dzięki silnemu sprzężeniu zwrotnemu przez opornik R (50 kΩ) pasmo wzmacnianych częstotliwości akustycznych obejmuje zakres 30 do 10 000 Hz; może to już zadowolić nawet dość wybrednego słuchacza muzyki odtwarzanej z płyt gramofonowych.

Radioamatorom, którym trudno byłoby zgromadzić tak dużą ilość elementów składowych, jaka jest niezbędna do budowy tego wzmacniacza, zaleca się budowę układu łatwiejszego, uwidocznionego na rys. 46. Potrzebny jest tu jednak głośnik o oporności cewki głośnikowej około 30 Ω. Moc akustyczna tego wzmacniacza wynosi 0,25 wata. Pasmo wzmacnianych częstotliwości sięga do 30 do 15 000 Hz, a więc znacznie przewyższa możliwości odtwarzania, jakie mają małe głośniki do przenośnych odbiorników. Sama budowa takiego wzmacniacza jest bardzo prosta i nie wymaga wykonania większej ilości elementów mechanicznych. Płytkę montażową wykonujemy w sposób następujący: Na czystym kawałku papieru ustawiamy wszystkie części składowe wzmacniacza, rozmieszczając je względem siebie tak, jak to widać na schemacie ideowym. Należy przy tym zwrócić uwagę na to, aby poszczególne części nie stykały się ze sobą. Teraz określamy wymiary zewnętrzne płytki, na której układ taki się zmieści i rysujemy jej kontury na papierze. Następnie przenosimy na papier obrysy wszystkich leżących na nim elementów. Obok obrysów oznaczamy na papierze miejsca, w których trzeba zrobić otwory dla przepuszczenia przez nie końcówek lutowniczych. Należy również przewidzieć otwór na umocowanie gniazdek wejściowych, wyjściowych i ewentualnie głośnika, jeżeli chcemy go umieścić w jednej obudowie. Następnie według wzoru narysowanego na papierze wycinamy z gumoidu o grubości 1 ÷ 2 mm odpowiedniej wielkości płytkę i wiercimy w niej wyznaczone na papierze otwory. Średnice otworów powinny być możliwie jak najmniejsze, to znaczy jak najbardziej dopasowane do średnic końcówek elementów, które mają w nie wejść; to nam zapewni ścisły i mocny montaż. Wszelkie połączenia lutowane wykonamy po drugiej stronie płytki, tuż przy niej. Lutowanie należy wykonać czysto, a płytki gumoidowej zbytnio nie przegrzewać, gdyż pod wpływem wysokiej temperatury „puchnie" i przy dłuższym grzaniu może się zwęglić. Wówczas gumoid staje się przewodnikiem i nie nadaje się do użytku. Przed montażem wszystkie końcówki lutownicze elementów składowych wzmacniacza trzeba dokładnie i delikatnie oczyścić nożem, żyletką lub papierem ściernym i pocynować. Do cynowania i lutowania trzeba używać tylko kalafonii, pod żadnym pozorem nie należy stosować kwasu.

Do zasilania tego wzmacniacza można użyć trzech szeregowo połączonych bateryjek okrągłych po 3,5 V (do latarek kieszonkowych).